

최 종  
연구보고서

GA0689-08012

# 쌀의 외형과 성분인자를 이용한 종합 품질측정시스템 개발

Development of Quality Measurement System Based on  
the Factors of Appearance and Component for Rice

연구기관

한국식품연구원

농림부

최 종  
연구보고서

GA0689-08012

# 쌀의 외형과 성분인자를 이용한 종합 품질측정시스템 개발

Development of Quality Measurement System Based on  
the Factors of Appearance and Component for Rice

연구기관

한국식품연구원

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “쌀의 외형과 성분인자를 이용한 종합 품질측정시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 4월 24일

주관연구기관명 : 한국식품연구원

총괄연구책임자 : 김 훈

세부연구책임자 : 김 동 철

세부연구책임자 : 김 의 응

연구 원 : 이 세 은

연구 원 : 김 상 숙

연구 원 : 박 종 대

위 축 연구 원 : 김 창 진

위 축 연구 원 : 배 수 진

위 축 연구 원 : 한 경 화

참 여 기 업 : 센서아이

참 여 연구 원 : 최 태 현

참 여 연구 원 : 남 궁 만 준

# 요 약 문

## I. 제 목

쌀의 외형과 성분인자를 이용한 종합 품질측정시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

쌀의 품질 주요인자인 윤기, 투명도, 백도 측정기술과 신속하고 객관적인 외형과 성분인자 측정기술개발을 통하여 외형과 성분인자를 종합한 품질측정시스템을 개발하여 국내쌀의 고품질 생산 및 유통기반을 확립하고, 소비자의 신뢰성을 회복하는데 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

### 가. 쌀의 윤기, 투명도, 백도측정기술 개발 및 쌀의 외형과 성분인자 품질특성 구명(1차년도)

- 쌀의 윤기, 투명도, 백도 측정기술개발
- Machine vision을 이용한 쌀 외형인자 품질특성 구명 및 시작기 개발
- NIR을 이용한 쌀 성분인자 품질특성 구명 및 시작기 설계

### 나. 쌀의 외형과 성분을 이용한 종합 품질측정시스템 개발 및 산업화(2차년도)

- 쌀 외형 품질측정 시작기 성능평가 및 보완
- NIR 센서를 이용한 쌀 성분 품질측정 시작기 개발 및 성능평가
- 쌀의 외형과 성분 종합 품질측정시스템 개발

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. CCD카메라 등으로 구성된 백도측정시스템을 제작하여 4품종 벼에 대한 백도와 칼라시스템 사이의 상관관계를 구명하고 적정 백도모델을 개발하였으며, 모델에 의한 예측치와 실측치간의 결정계수는 0.947로서 만족한 수준이었다. 따라서, 개발한 백도모델을 이용하여 CCD카메라를 이용한 영상처리시스템으로 백도의 측정이 가능하였으며, 종합품질측정시스템의 주요 설계인자로 사용이 가능하였다.
2. CCD카메라, 3종의 조명으로 구성된 투명도 및 윤기측정시스템을 제작하였으며, 투명도 및 윤기 표준측정판을 이용하여 영상처리를 이용한 각각의 모델을 개발하였다. 투명도 및 윤기에 대하여 측정치와 모델에 의한 예측치와의 결정계정수는 각각 0.975 및 0.976으로서 만족한 수준이었다.
3. 쌀 외형품질인자를 영상처리로 판별하기 위하여 우선적으로 3품종의 현미 정립 및 비정상립(미숙립, 열손립, 피해립, 사미 등)과 백미 정상립 및 불량립(분상질립, 열손립, 피해립, 싸라기)의 기하학적 및 칼라특성을 분석하여 이를 토대로 판별 가능성을 제시하였다. 또한 외형인자별 중량특성을 이용하여 중량환산지수를 제시하였다.
4. 쌀의 외형품질인자를 판별하는 측정시스템을 CCD카메라, 조명장치, 시료측정부, 영상처리부 등으로 구성하여 설계, 제작하였다. 시스템의 운영은 윈도우 기반의 인터페이스로 개발하였다.
5. 개발한 외형품질측정시스템의 평균 판별오차율은 정립 1.4%, 싸라기 0.8%, 분상질립 0.7%, 피해립 0.9%, 열손립 0.07%로서 평균 오차율은 1.23%로 검사요원간의 판별오차율 0.2%와 비교해서 비교적 적합한 수준이었다.

6. 쌀의 성분인자를 측정하기 위하여 성분별 NIR 스펙트럼을 획득하고, 적정 파장영역을 선정하고, Spectrometer를 기반으로 한 성분인자측정 시스템을 설계·제작하였다. 제작된 성분인자측정시스템의 결정계수는 단백질 0.910, 아밀로스 0.927, 함수율 0.850, 지방산가 0.724로서 비교적 만족한 수준이었다.
7. 종합품질측정시스템은 동일 시스템에서 외관인자 및 성분인자의 측정이 가능하고, 단립 및 산물상태로 시료가 정렬이 될 수 있어야 하며, 동일한 제어장치에서 종합적으로 제어시스템으로 충족하도록 관련 기구부 및 이송기기류 등을 설계·제작하였다.
8. 백도, 윤기, 투명도 측정장치, 외형인자 측정시스템 및 성분인자 측정시스템의 연구결과를 고려하여 설계·제작하였다. 즉, 적정 조명선정 실험, 외형정보획득 등의 실험에서 선정된 조명을 고려하였고, 성분인자 검증에서 각 성분인자 별 파장영역 등을 고려하여 Spectrometer 및 주변기기를 설계·제작하였다.
9. 본 연구는 쌀의 품질을 종합적으로 측정하기 위하여 외형인자는 영상처리기술을 이용하고, 성분인자는 NIR을 이용하는 시스템으로서 상품화를 위한 기반기술을 개발하였다. 참여기업과 유상기술이전을 합의하였고, 상품화를 위한 기술지원을 통해 2009년에는 RPC 등 쌀 생산현장에 보급할 계획에 있다.

# SUMMARY

## I. Title

Development of Quality Measurement System Based on the Factors of Appearance and Component for Rice

## II. Objectives and significance of the research

The purpose of the study is to set up the system of measuring the quality of rice produced in Korea, integrating rice appearance factors and component factors, through the development of the technology, which can be used for the quick and objective measurement of rice appearance, components and the main rice quality factors, such as gloss, transmittance, whiteness, to secure the infrastructure for the production and distribution of high quality rice grown in Korea, and to contribute to improving customer's trust in Korean rice.

## III. Contents and scope

### A. Development of gloss, transmittance, whiteness measurement technology and appearance, component characteries of rice

- Development of gloss, transmittance, whiteness measurement technology
- Development of pilot scale system using Machine vision with appearance of rice
- Development of pilot scale system using spectrometer with component of rice

## **B. Development of quality measurement system based on the factors of appearance and component for rice**

- Performance evaluation and complement of pilot scale system using Machine vision with appearance of rice
- Performance evaluation and complement of pilot scale system using Machine vision with appearance of rice
- Development of quality measurement system based on the factors of appearance and component for rice

## **IV. Results and suggestions**

1. In the study, the system of measuring rice whiteness, composed of CCD camera was set up and the correlations between the whiteness and color system about the kinds of rough rice was examined and the appropriate whiteness model was developed. The determination coefficient between predicted value and measured value based on the model was 0.947, which was considered to be acceptable level. Therefore, it was possible to measure the whiteness in the machine vision system with CCD cameras, and based on the whiteness developed, the whiteness could be used as one of the main factors for the design of quality measurement system.
2. The system of measuring the rice transmittance and gloss, composed of the 3 kinds of illumination by CCD cameras, was set up, and each model was developed by applying the image processing using the standard measurement of transmittance and gloss. The determination coefficient between the measured values and predicted values for the transmittance and gloss was 0.975 and 0.976 in each item, which was considered as acceptable level.



3. In order to distinguish the factors of rice appearance quality through the image processing, first the 3 kinds of brown rice and milled rice were analyzed for the examination of geometric and color-specific quality, and then the possibility of distinguishing the quality difference of rice was proposed based on the findings. In addition, the indicator of weight conversion was suggested using the weight specialty, depending on each appearance specialty.
4. The measurement system, which could distinguish the factors of rice appearance quality, was formed, designed and manufactured with CCD cameras, illuminations equipments, sample measuring part and image processing part. The operation of the system was developed as Windows-based interface.
5. The average distinguishing error rate of the rice appearance quality measurement system developed was 1.4% in whole rice, 0.8% in broken rice, 0.7% in immature rice, 0.9% in damaged rice, and 0.07% in colored rice respectively. And the average error rate was 1.23%, which was deemed as appropriate level, compared with 0.2% of distinguishing error rate among the examiners.
6. In order to measure the components of rice, NIR spectrum by the component was acquired and an appropriate band range was selected, and the system of measuring the factors of components based on spectrometer was designed and manufactured. The determination coefficient of the component factor measurement system produced was 0.910 in protein, 0.927 in amylase, 0.850 in moisture content, and 0.724 in fat acidity, which was thought as relatively satisfactory level.
7. The comprehensive quality measurement system was designed and

manufactured into the related equipments part and moving machine & equipment part to satisfy the requirement that it could measure the appearance factors and component factors in the same system, arrange the rice in the kernel or bulk state, and meet collectively the needs of control system.

8. The system was designed and produced on the consideration from the study about the system of measuring whiteness, gloss and transmittance, appearance factor measurement system, and component factor measurement system. In other word, the illumination was considered and selected with the ones from the appropriate illumination selection test and the test for appearance information acquirement, and the spectrometer and its peripherals were designed and manufactured, based on the consideration of the band range by each performance factor in the component factor verification.
9. In the study, the base technology for the commercialization of the system was developed for the comprehensive measurement of rice quality where the appearance factors were processed using image treatment technology, and the component factors was processed in the system using NIR. For the technology, the compensated transfer of the technology was agreed with the participant company, and the system will be further developed through the continuous technical support, and is planned to be supplied to the rice production site like RPC in 2009.

# CONTENTS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Chapter 1. Introduction</b> .....   | 13  |
| A. Significance .....  | 13  |
| B. Objectives .....  | 18  |
| C. Scope .....   | 18  |
| <br>   |     |
| <b>Chapter 2. Research development status</b> .....  | 19  |
| <br>   |     |
| <b>Chapter 3. Results and discussions</b> .....  | 23  |
| A. Development of gloss, transmittance, whiteness measurement technology<br>.....          | 23  |
| 1. Whiteness .....   | 23  |
| 2. Transmittance .....   | 38  |
| 3. Gloss .....   | 38  |
| B. Development of pilot scale system using Machine vision with<br>appearance of rice ..... | 67  |
| 1. Appearance of rice .....  | 67  |
| 2. Geometric characteries of rice .....  | 78  |
| 3. Color characteries of rice .....  | 79  |
| 4. discrimination of appearance factors using appearance and color of<br>rice .....        | 89  |
| 5. Development of machine vision with appearance of rice .....                             | 114 |
| C. Development of pilot scale system using spectrometer with<br>component of rice .....    | 136 |
| 1. Component of rice .....   | 136 |

|  |            |
|--|------------|
| 2. Development of model of rice component using spectrometer ..  | 138        |
| D. Development of quality measurement system based on the factors of appearance and component for rice ..... | 159        |
| 1. Concept of system .....   | 159        |
| 2. Composition of system .....   | 161        |
| 3. Design and manufacture of system .....  | 161        |
| 4. Control and management of system .....  | 169        |
| Appendix .....   | 171        |
| <b>Chapter 4. Research goal attainment and contribution to related area .....</b>                            | <b>197</b> |
| <b>Chapter 5. Plan for application of research results .....</b>   | <b>199</b> |
| <b>Chapter 6. References .....</b>   | <b>200</b> |

# 목 차

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 제 1 장 연구개발과제의 개요 .....              | 13 |
| 제 1 절 연구개발의 필요성 .....               | 13 |
| 제 2 절 연구개발의 목적 .....                | 18 |
| 제 3 절 연구개발의 범위 .....                | 18 |
| <br>                                |    |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....             | 19 |
| <br>                                |    |
| 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....          | 23 |
| 제 1 절 쌀의 백도, 투명도 및 광택 측정기술 개발 ..... | 23 |
| 1. 백도 측정기술 개발 .....                 | 23 |
| 가. 공시재료 .....                       | 23 |
| 나. 실험장치 .....                       | 23 |
| 다. 실험방법 .....                       | 27 |
| 라. 실험결과 .....                       | 31 |
| 2. 투명도 측정기술 개발 .....                | 38 |
| 가. 쌀의 투명도 .....                     | 38 |
| 나. 실험장치 및 방법 .....                  | 38 |
| 다. 실험결과 .....                       | 42 |
| 3. 광택 측정기술 개발 .....                 | 52 |
| 가. 쌀의 광택 .....                      | 52 |
| 나. 실험장치 및 방법 .....                  | 53 |
| 다. 실험결과 .....                       | 54 |
| <br>                                |    |
| 제 2 절 쌀의 외형인자 측정 기술 및 시스템 개발 .....  | 67 |
| 1. 쌀의 외형인자 .....                    | 67 |
| 가. 현미 및 백미의 외형품질인자의 특성 .....        | 67 |

|  |            |
|--|------------|
| 나. 현미의 외형인자 정의 .....                                 | 71         |
| 다. 백미의 외형인자 정의 .....                                 | 76         |
| 2. 기하학적 특성 .....                                     | 78         |
| 가. 공시재료 .....  | 78         |
| 나. 실험방법 .....  | 78         |
| 다. 실험결과 .....  | 79         |
| 3. 칼라특성 .....  | 88         |
| 가. 공시재료 .....  | 88         |
| 나. 실험방법 .....  | 88         |
| 다. 실험결과 .....  | 89         |
| 4. 기하학적 및 칼라특성을 이용한 외형인자 판별 .....                    | 95         |
| 5. 외형인자 측정시스템 개발 .....                               | 114        |
| 가. 설계 기본방향 .....                                     | 114        |
| 나. 시스템 설계 및 제작 .....                                 | 114        |
| 다. 영상처리 및 운영프로그램 개발 .....                            | 118        |
| 라. 성능평가 .....  | 122        |
| <b>제 3 절 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분인자 측정 시스템 개발 .....</b> | <b>136</b> |
| 1. 쌀의 주요 성분인자 및 측정 .....                             | 136        |
| 2. 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분인자 모델 개발 .....               | 138        |
| 가. 재료 및 방법 .....                                     | 138        |
| 나. 모델검증 .....  | 145        |
| 다. 시스템 설계 · 제작 및 성능 .....                            | 149        |
| <b>제 4 절 외형 및 성분인자를 이용한 종합품질측정시스템 개발 .....</b>       | <b>159</b> |
| 1. 시스템의 개요 .....                                     | 159        |
| 2. 시스템의 구성 .....                                     | 161        |
| 3. 시스템의 설계 및 제작 .....                                | 161        |
| 4. 시스템의 제어 및 운영 .....                                | 169        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 부 록 .....                        | 171 |
| 제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도 ..... | 197 |
| 제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....         | 199 |
| 제 6 장 참 고 문 헌 .....              | 200 |

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 제 1 절 연구개발의 필요성

2004년 쌀 재협상으로 10년간 관세화유예에 합의하였으나, 의무수입물량(MMA)의 증가와 밥 쌀의 시장판매를 점차적으로 허용함에 따라 외국 쌀과의 품질 경쟁력은 한층 심화되고 있다. 특히, 관세화유예가 종료되는 2015년 이후에는 관세화를 통한 쌀시장의 전면 개방이 불가피할 것으로 전망되며, 쌀 시장에서 국내 및 수입쌀이 함께 유통됨에 따라 시장에서의 고품질 쌀 및 가격 경쟁은 더욱 심화되어질 것으로 전망되고 있다. 따라서, 10년간(2005~2014)의 유예기간 동안 수입쌀과의 품질 및 가격 경쟁이 가능한 수준으로 국제 경쟁력을 강화하는 것이 쌀 정책과 산업에 있어서 당면 과제로서, 정부는 2002년에 그동안의 쌀 증산정책에서 탈피하여 고품질 쌀 생산정책으로 전환하였다.

우리나라 쌀 생산량의 약 65%를 가공하는 미곡종합처리장은 정부정책, 국내외 쌀 산업 여건변화 등의 영향으로 고품질의 쌀 생산을 미곡종합처리장 최대 과제로 인식하고 시설의 추가 증설, 첨단 기술 도입 검토, 운영 개선 등 많은 노력을 하고 있다. 그러나, 아무리 수입쌀과 차별화된 고품질의 쌀을 생산하고자 하는 의지가 있더라도 생산과 관련된 기계장비, 운영기법, 유통체계 등 기반기술이 부족하면 실제 고품질 쌀을 생산하기에는 많은 어려움이 있다. 특히, 연중 균일한 품질이 유지되는 고품질 쌀을 생산하기 위해서는 객관적인 쌀의 품질정보를 신속하게 측정하여 품질관리(QC)체계를 구축하여야 하지만, 품질이 좋고 나쁨을 판별하는 관련 측정장치의 보급률이 매우 낮아 대부분 육안이나 경험에 의존하고 있어 고품질의 쌀을 생산하고자 하는 의지는 있지만 실제 생산에는 많은 어려움이 있다.



표 1-1-1. 주요 품질검사장비의 미곡종합처리장 보급비율(한국식품연구원, 2004, 50개소)

| 구 분  | 백도측정장치 | 외형 품질측정기 | 성분측정기 |
|------|--------|----------|-------|
| 보급비율 | 18.5%  | 26.4%    | 25.0% |

쌀 품질관련 측정장치의 낮은 보급률로 인하여 품질관리가 어렵게 되고 이는 곧 유통되는 쌀의 품질과도 직결되고 있다. 유통되는 브랜드쌀들의 품질은 많은 차이가 발생하고 있으며, 동일한 시설에서도 연중 균일하지 못한 쌀을 유통하고 있어, 결과적으로 소비자들의 국내 쌀에 대한 신뢰도 저하를 더욱 가중시키고 있다(한국식품연구원, 농협식품연구소, 2003).

또한, 소비자의 품질, 식미, 안전성 등 고품질 쌀에 대한 요구는 지속적으로 증대하고 있으나 쌀 가격과 전반적인 품질과의 유의적인 차이가 없으며, 연중 균일하지 못한 브랜드쌀로 인하여 품질이 좋은 쌀을 선택하기에는 매우 어려운 것이 현재 쌀 유통시장의 현실이다.

- 유통쌀의 가격과 전반적인 품질(식미)과의 상관관계( $R^2=0.0015$ )가 매우 낮음(김 등, 2003, 134점)
- 2005년 쌀 브랜드 수는 1,900여개에 이르고 있음(농림부, 2006)
- 농진청과 인사이트리서치의 공동조사(2003)에 의하면 쌀 브랜드화를 저해하는 원인은 연중 쌀의 품질이 균일하지 못함(24.9%)이 가장 높은 비율임(여성 1,000명, 신뢰수준 95%, 표본오차  $\pm 3.1\%$ )

고품질 쌀은 낱알이 충실하고 이물이 없고 적당한 함수율과 강층을 완전히 제거한 투명도와 윤기가 뛰어나며, 고유 향미가 많은 좋은 쌀, 성분기준이 적정한 쌀로 정의할 수 있다(농림부, 국립농산물품질관리원, 농촌진흥청, 한국식품연구원, 농협중앙회).

2005년 8월 농림부는 소비자에게 쌀(백미)의 품질정보를 정확하게 제공하기 위해 쌀의 등급규격을 개정하였으며, 현미의 외형 품질과 관련하여

검사규격과 표준출하규격이 제정되어있다.

따라서, 국내쌀의 등급과 품질을 결정하는 주요인자는 외형 및 성분으로서, 투명도, 윤기(광택), 백도, 함수율, 성분(단백질, 아밀로스 등), 외형(정립, 싸라기, 피해립 등) 등으로 구분할 수 있으며, 이들 인자는 밥맛과의 상관관계도 매우 높다.

표 1-1-2. 국내쌀의 등급과 품질을 결정하는 주요인자

| 주요 인자  | 영향 인자        | 비 고                  |
|--------|--------------|----------------------|
| 투 명 도  | 도정, 재배 등     | 농산물표준규격(농관원)         |
| 윤기(광택) | 도정, 재배 등     | 농산물표준규격(농관원)         |
| 백 도    | 도정도          | 도정기준(한국식품연구원, 농협중앙회) |
| 함 수 율  | 건조, 저장, 도정 등 | 포장등급규격(농림부)          |
| 성 분    | 품종, 재배, 저장 등 | 품질기준(농협중앙회)          |
| 외 형    | 품종, 도정 등     | 포장등급규격(농림부)          |

현재 국내에 보급되고 있는 품질관련 측정장치는 크게 함수율측정기, 백도측정기, 성분측정기(단백질, 아밀로스 등), 외형측정기(정립, 싸라기 등) 등으로 구분할 수 있으며, 함수율측정기를 제외하고는 국내제품은 전무한 실정으로 대부분 수입품에 의존하고 있는 실정이다. 주로, 일본, 스웨덴 등에서 수입되고 있으며, 최근에는 호주에서도 수입검토가 이루어지고 있다. 이들 수입제품은 외형측정기 및 성분측정기로 크게 2개의 측정기로 구분할 수 있으며 대부분 고가로 수입되고 있다. 또한, 쌀의 품질을 측정하기 위해서는 2개의 측정기를 각각 따로 구입해야 하므로 가격부담은 더욱 가중되고 있는 실정이다. 수입되고 있는 외형 및 성분측정기는 국내에서 성능에 대한 기준이 전무한 실정이고, 또한, 이를 평가하는 평가주체도 없는 상태로 대부분 아무런 제한 없이 보급되고 있다. 또한, 이들 수입제

품에 대한 성능 정보도 보고된 바가 없어 대부분 어떤 제품은 잘 맞는다, 어떤 제품은 잘 맞지 않는다 등 구두로 전해지고 있는 실정이다.

외형 및 성분측정기는 다양한 쌀 시료(기준시료)에 대한 통계적 모델에 의해 측정하는 기계적인 측정방식으로 측정의 정밀도를 높이기 위해서는 쌀에 대한 지속적인 정보수집이 매년 이루어져 통계모델에 대한 개선이 필요하지만 수입제품은 이러한 기술적 문제는 가지고 있다.

쌀의 윤기, 투명도는 예전부터 내려오던 우리나라 고유의 품질측정인자로서 외국에서도 측정기술의 기반이 미약한 실정이고, 품질과의 관계도 정립되어 있지 않다. 따라서, 쌀의 윤기, 투명도의 측정기술을 개발하고 이를 토대로 품질과의 관계를 구명하므로써 수입쌀과의 차별화에 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

쌀의 품질관련 측정장치는 생산현장에서 품질관리(QC)에 필수불가결한 장치이며, 고품질 생산 및 유통체계 구축에도 미치는 파급효과는 매우 크다. 따라서, 농림부는 품질고급화를 위해 품질검사장비 보급 지원과 품질등급 규격화(계량화, 기준설정 등)를 추진하고 있다(농림부 쌀산업종합대책 보안, 2006).

특히, 농협중앙회, 일부 지자체는 이미 고품질 쌀 생산 및 유통정책의 일환으로 품질검사장비 보급을 지원하고 있으며, 정부 및 농협중앙회는 쌀산업의 국제경쟁력 확보를 위해 미곡종합처리장을 통합하는 정책을 추진(기존 328개소→통합 100개소)하고 있으며, 통합으로 인하여 미곡종합처리장에서 처리하는 쌀의 규모는 대폭 증가할 것으로 예상되며, 품질관리의 획기적인 전환과 함께 품질측정시스템의 도입도 확대될 전망이다.

국내의 경우 품질관련 측정장치 개발과 관련된 기반기술은 대부분 확보되어 있으나 시스템화 즉, 상용화가 되지 않아 국내산 제품이 전무하여 IT 선진국이라는 용어가 무색한 실정이다. 따라서, 이미 확보된 기반기술을 적극 활용한다면 단기간에 제품 개발이 가능하며, 이로 인한 수입대체효과는 매우 클 것으로 판단된다.

국제 경쟁력을 갖춘 고품질의 쌀 생산 및 유통을 위해서는 쌀의 품질에 대한 정확하고 객관적인 정보를 바탕으로 한 품질관리(QC)가 우선되어야

하며, 이러한 품질관리를 통해 소비자에 대한 신뢰성 회복과 수입쌀과의 품질 경쟁 및 차별화가 가능하다.

따라서, 고품질 쌀의 주요인자 인 윤기, 투명도, 백도측정에 대한 기술 개발이 필요하며, 외형 및 성분에 대한 측정기술의 시스템화를 통해 이들 인자를 종합적으로 측정할 수 있는 품질측정장치의 개발과 보급(산업화)이 시급히 필요하다.

## 제 2 절 연구개발의 목적

쌀의 품질 주요인자인 윤기, 투명도, 백도 측정기술과 신속하고 객관적인 외형과 성분인자 측정기술개발을 통하여 외형과 성분인자를 종합한 품질측정시스템을 개발하여 국내쌀의 고품질 생산 및 유통기반을 확립하고, 소비자의 신뢰성을 회복하는데 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

### 가. 쌀의 윤기, 투명도, 백도측정기술 개발 및 쌀의 외형과 성분인자 품질특성 구명(1차년도)

- 쌀의 윤기, 투명도, 백도 측정기술개발
- Machine vision을 이용한 쌀 외형인자 품질특성 구명 및 시작기 개발
- NIR을 이용한 쌀 성분인자 품질특성 구명 및 시작기 설계

### 나. 쌀의 외형과 성분 종합 품질측정시스템 개발 및 산업화

- 쌀 외형 품질측정 시작기 성능평가 및 보완
- NIR 센서를 이용한 쌀 성분 품질측정 시작기 개발 및 성능평가
- 쌀의 외형과 성분 종합 품질측정시스템 개발

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

쌀의 윤기(광택)에 대한 측정기술은 세계적으로도 전무한 상태이며, 투명도에 대해서는 일본(S사)에서 보고되고 있지만 투명도와 품질과의 관계 등 명확한 기준은 보고되고 있지 않다. 또한, 백도에 대한 측정기술은 제품화가 이루어지고 있지만, 백도와 색차시스템과의 영향인자, 백도와 품질과의 관계가 정립되어 있지 않다.

따라서, 우리나라 고유의 품질인자인 쌀의 윤기(광택), 투명도와 백도가 광학특성, 색차시스템 등과의 영향인자를 구명하여 정밀한 측정이 가능한 시스템을 개발하는 것이 본 연구내용에 포함되어 있다.

근적외선 분광분석법(NIR)은 농산물의 물리화학적 특성 등, 기계시각(machine vision)은 농산물의 품위판정 등 매우 다양한 영역에서 연구가 진행되었으며, 가장 대표적인 비파괴적 품질측정방법 중에 하나이다.

Hart 등(1962), Finney 등(1978), Osborne 등(1986), Iwamoto 등(1986)은 함수율, 단백질 등을 NIR로 측정할 수 있는 예측모델에 관하여 보고하였다.

Goodman 등(1984), Zayas 등(1985), Neuman 등(1989), Chen 등(1989)은 농산물의 품위판정, 품종판별 등에 기계시각을 이용하였다.

쌀의 성분과 외형 특성을 측정하는 장치는 미국, 일본 등에서 개발되었으며, 국내에는 일본 3개사, 스웨덴 1개사의 제품이 수입되고 있으며, 비교적 고가로 보급되고 있다.

백도계는 주로 카메라, LED, Photo diode 등 광학센서와 빛의 반사특성을 이용하여 측정하고 있으며, 색(Color)과의 관계가 밀접한 것으로 보고되고 있으나, 실제 시스템화(제품화)를 위해서는 RGB, Lab 등 여러 가지 색차시스템 중에서 상관관계가 높은 인자를 구명하여 이를 센서화하여야 하지만, 이 기술은 개발자의 know-how로서, 이에 대한 구명이 우선되어야 한다.

성분측정기는 일본(K사, S사), 스웨덴(F사)과 최근 호주에서도 도입을

검토하고 있으며, 주로 NIR 센서를 이용한 제품으로 약 2,000만원~4,000만원 수준으로 매우 고가이다.

외형측정기는 일본(K사, S사, SS사), 스웨덴(F사)제품으로 가격은 약 1,800만원~3,500만원으로 매우 고가이며, LED, 칼라 스캔, CCD camera 등 다양한 측정기구와 측정방법이 있다.

표 2-1-1. 국외의 관련 연구의 활용현황

| 연구자         | 연구개발의 내용  | 연구개발성과의 활용현황     |
|-------------|---|------------------|
| Goodman 등   | 카메라와 컴퓨터를 이용한 화상분석장치를 제작하여 측정시간 등 기본성능이 우수하다고 보고함 | 영상 분석모델 및 시작기 개발 |
| Sairstein 등 | 밀, 귀리, 보리 등 곡물을 화상분석법으로 판별하는 영상기법을 보고             | 시스템화를 위한 기반기술    |
| Neuman 등    | 밀의 칼라특성 등을 이용하여 품종 판별 가능성 보고                      | 기반기술             |
| Chen 등      | 3차원 칼라 영상정보를 이용하여 판별율을 향상하였다고 보고                  | 시스템의 성능개선        |
| Hosokawa 등  | 투과 영상처리장치를 통하여 현미 외형품위를 판별하는 영상인식 및 정량화           | 시스템화를 위한 기반기술    |
| Delwiche 등  | 산물상태에서 밀의 반사 스펙트럼을 획득하고 다중회귀분석으로 단백질 함량을 분석       | 시스템화를 위한 기반기술    |
| Finney 등    | 투과 스펙트럼을 이용하여 함수율 예측모델을 제시                        | 시스템화를 위한 기반기술    |
| Iwamoto 등   | 단백질 측정을 위한 NIR 스펙트럼 밴드 구명 및 단백질 예측모델              | 시스템화를 위한 기반기술    |

최근에는 이러한 기반기술을 토대로 성분, 외형, 취반특성 등 다양한 기법을 이용하여 쌀의 식미를 측정하는 식미계가 일본에서 개발되어 국내에 보급되어 있으나, 식미치의 정확도(상관계수가 0.5정도 수준임)가 낮아 보급은 거의 중단되어 있는 상태이다. 그러나, 일본 등에서는 지속적으로 이에 대한 보완 연구가 활발히 이루어지고 있는 상황이다. 식미계 또한, 외형 및 성분측정기를 바탕으로 개발되는 기술로서 국내에서도 빠른 시일내에 외형 및 성분측정기에 대한 실용화가 이루어져야 하며, 이를 기반으로 한국형 식미계의 개발도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

국내에서도 쌀의 단백질, 아밀로스, 지방산도 등 성분을 측정하기 위하여 NIR(근적외선분광분석법)을 이용한 비파괴 방법에 대한 연구가 많이 이루어 졌다. 문성식 등(1994)은 NIR을 이용하여 30종의 시료를 이용한 중회귀분석을 수행하여 쌀의 함수율, 단백질, 지방, 아밀로스 측정오차는 각각 0.104, 0.196, 0.098, 1.427%로 보고하였다. 김상숙 등(1998)은 NIR 예측모델을 개발하여 단백질의 경우 1100~1500nm 영역에서  $R^2=0.837$ , 아밀로스는 1100~2290nm 영역에서 전처리하지 않고 분할간격 20nm로 2차 미분 스펙트럼을 이용하여  $R^2=0.992$ 로 보고하였다. 김재민 등(1998) NIR을 이용한 단립 쌀의 함수율, 단백질 함량 예측모델을 개발하여 검증 결과가 우수하여 적용성이 높다고 보고하였다. 한충수 등(1998)은 생벼를 이용한 NIR 현미단백질 함량 모델을 개발하고  $R^2=0.88$ 로서 실용 가능성이 충분하다고 보고하였다. 국내에서 많은 연구결과가 보고되고 있는 등 쌀의 성분 중 단백질, 아밀로스, 지방산도 및 함수율은 NIR을 이용하여 신속하고, 비교적 정확하게 측정이 가능한 기반기술 즉, NIR 스펙트럼 밴드 구명과 모델개발 등은 이미 확보되어 있는 것으로 판단되나, 측정장치의 시스템화 즉, 상용화가 이루어지지 않고 있다.

본 연구진은 바이오시스템공학회지에 게재한 논문(2005년)에서 쌀의 백도는 식미 및 도정도와 밀접한 관계가 있어, 백도를 도정기준으로 제시한 바 있으며, 특히, 쌀의 칼라시스템과의 관계를 구명하여 도정도별 백도 모델(한국식품저장유통학회, 2005)을 개발하였다.

따라서, 쌀의 외형과 성분을 신속하고, 객관적으로 판별할 수 있는 기반



기술은 국내에서 이미 확보가 되어 있으며, 투명도, 윤기, 백도 등 쌀의 칼라 등과 밀접한 관계가 있는 품질인자에 대한 측정기술이 확보된다면, 쌀의 외형 및 성분인자를 이용하여 종합적으로 측정할 수 있는 품질측정기의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

표 2-1-2. 외형 및 성분 측정기 개발과 관련된 국내수준

| 주요 인자 | 관계           | 주요 요인           | 현재 국내기술의 수준   |
|-------|--------------|-----------------|---|
| 투명도   | 품질/고유 인자     | 도정, 재배 등        | 연구사례가 없음  |
| 윤기    | 품질/고유 인자     | 도정, 재배 등        | 측정기술은 전무한 상태  |
| 백도    | 품질 인자        | 도정도             | 백도모델 등<br>기반기술(한국식품연구원, 2005) 등이<br>정립단계수준, 향후 개발가능수준 |
| 함수율   | 등급 및<br>품질인자 | 건조, 저장,<br>도정 등 | 개발완료수준  |
| 성분    | 품질인자         | 품종, 재배 등        | 기반기술은 확립되어 있으나<br>시스템화(상용화)가 이루어지지 않는<br>수준           |
| 외형    | 등급 및<br>품질인자 | 도정 등            | 기반기술은 확립되어 있으나<br>시스템화(상용화)가 이루어지지 않는<br>수준           |

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 쌀의 백도, 투명도 및 광택 측정기술 개발

#### 1. 백도 측정기술 개발

##### 가. 공시재료

본 실험에 사용한 시료는 국내에서 가장 많이 재배되는 2006년산 남평, 동진, 일미 및 추청 등 4품종으로서, 경기, 충남 및 충북지역에 소재하는 RPC에서 현미상태로 구입하였다.

현미를 시험용 색채선별기(ACS-12,A-Mecs, Korea)에 시료의 상태에 따라 1~3회 통과시켜 미숙립, 열손립 및 사미 등 비정상립을 제거하고, 정립만을 선별하여 PE 필름으로 밀봉하여 2℃를 유지하는 저온저장고에 보관하였다. 실험에 사용한 4품종 현미 정립의 함수율은 평균 15.4~16.1%(w.b.) 수준이었다.

##### 나. 실험장치

쌀의 백도측정장치는 그림 3-1-1과 같이 CCD 카메라, 영상획득·처리장치, 조명장치 및 PC 등으로 구성하였다. 렌즈는 75mm 렌즈( $f=8\text{mm}$ )를 사용하였으며, CCD 카메라는 Jai사의 칼라 3D용(CV-M70, Jai, Japan)으로 최대해상도는 659(H)×494(V)이며, 통신수단은 RS232로 원격제어가 가능하였다.

영상처리방법은 우선적으로 쌀의 영상을 CCD카메라로 취득하였다. CCD카메라는 영상을 아날로그 신호 형태인 전기 신호로 변환할 수 있다. CCD(Charge Coupled Device)는 2차원 배열 형태의 센서가 있는데, 빛을 감지하여 빛의 세기에 비례하는 전기 신호로 바꾸어주는 광좌(photosite)와 전기 신호를 읽어내는 전자회로 등으로 구성되어 있다. CCD카메라로

취득한 영상의 전기 신호는 디지털이저에 포함된 아날로그-디지털(AD) 변환 기능을 통해 변환하도록 하였다. 변환된 신호는 PC에 저장하여, 영상 처리 연산을 위해 입출력이 가능하도록 하였다. 영상처리 데이터를 디지털-아날로그(DA) 변환기능을 통해 아날로그 신호 형태로 재구성한 후 모니터로 출력하도록 하였다.

PC 기반으로 전체 장치의 조절과 영상획득, 처리, 저장 및 표시 등으로 인터페이스를 제공하도록 하였다.

조명은 동축, 링 및 백라이트 등 3종의 조명과 조명의 위치를 제어하는 기구부로 구성하였다(그림 3-1-2). 3종의 조명은 독립적으로 사용이 가능하고, 2종 또는 3종이 동시에 조합될 수 있도록 구성하였으며, 조명의 밝기를 임의대로 조정이 가능하도록 하였다.

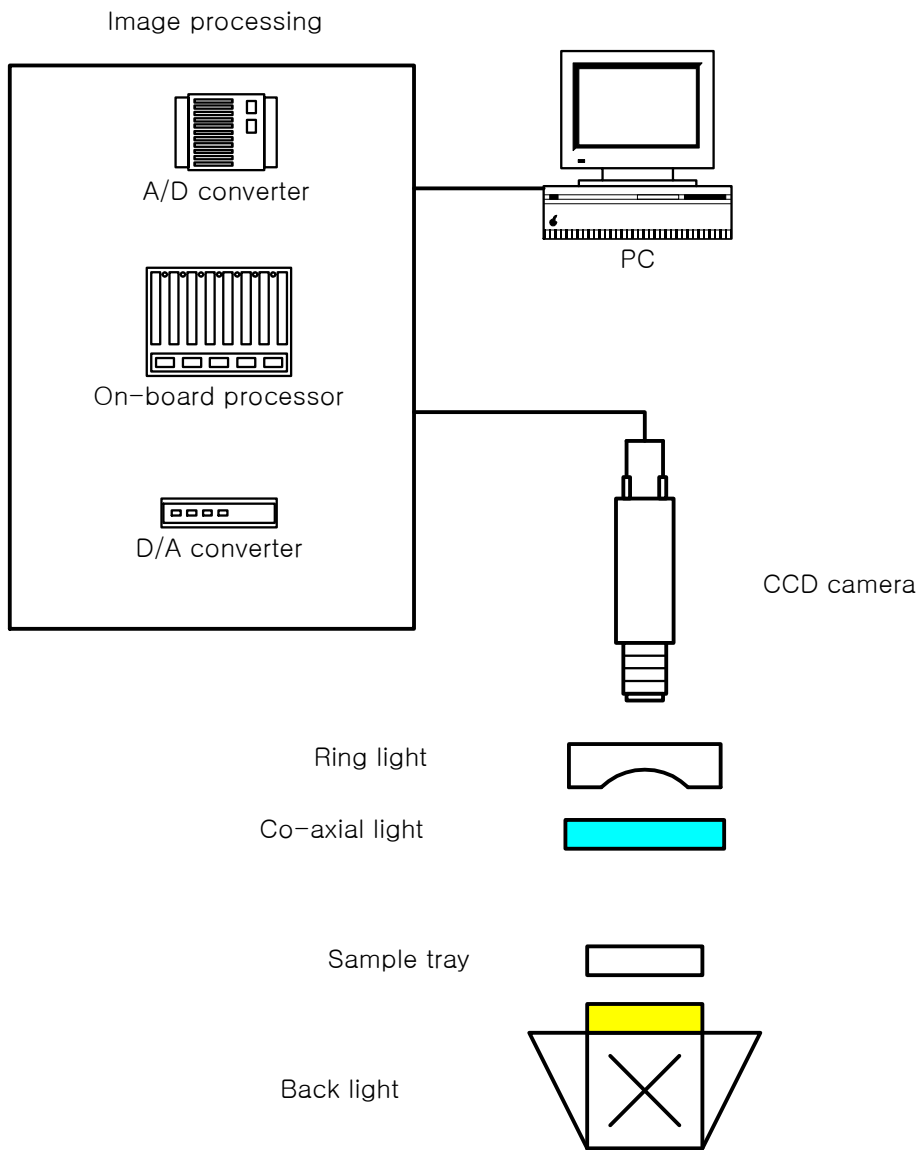
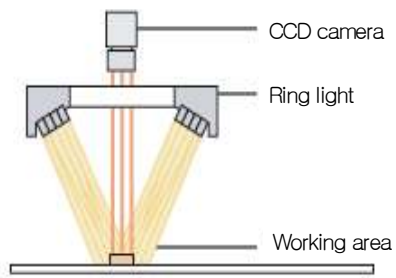
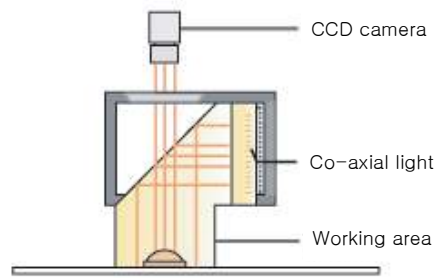


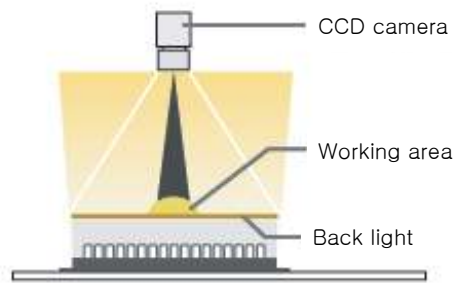
그림 3-1-1. 백도측정장치



(a) Ring light



(b) Co-axial light



(c) Back light

그림 3-1-2. 3종 조명장치의 원리 및 작업영역

## 다. 실험방법

### 1) 도정 및 측정방법

현미를 실험 24시간 전 저온저장고에서 꺼내어 상온에 방치하여 주위 공기온도와 평형을 이루도록 한 후 실험에 사용하였다. 시험용 마찰식정미기(VP-32T, Yamamoto, Japan)로 유량을 조정하면서 현미를 11회 반복 투입하면서 도정하여 백도별 11개의 시료를 조제하였다.

도정된 백미는 색채선별기(ACS-12,A-Mecs, Korea)로 1회 통과시켜 분상질립, 열손립 및 피해립 등 불량립을 선별하였으며, 흡선별기(TRG, Satake, Japan)를 사용하여 싸라기를 선별한 후 최종적으로 수작업으로 정상립만을 선별하여 실험에 사용하였다. 이 때 사용한 시료의 품위조성은 백도에 영향을 크게 미치는 분상질립, 열손립 등은 0%가 되도록 하였으며, 싸라기 등은 0.1% 미만이었다.

시험용 마찰식정미기에 반복 투입중에 일정량의 시료를 채취하여 백도 및 Lab값을 측정하였다. 백도는 일본(全國食糧檢查協會, 2002) 및 국내에서 기준장비로 널리 사용되는 백도계(CR 300-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였다.

Lab값은 시료를 원통형 용기(41×12.5mm)에 담아 흑색패드에서 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였으며, tube는 light-projection tube (CRA33)을 사용하였다. Lab값은 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였다.

### 2) 백도측정장치의 적정 조명조건

백도측정장치에 설치되어 있는 3종의 조명(링, 동축, 백라이트)이 단독 또는 조합했을 때 쌀의 형상, 칼라 및 백도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 동진에 대하여 백도별 11개의 시료를 백도측정장치를 이용하여 표 3-1-1과 같은 324단계의 조명조건하(링조명 6단계, 동축조명 9단계, 백조명 6단계)에서 쌀의 형상을 획득하고 배경영역을 추출(그림 3-1-3)하

였다.

CCD 카메라의 칼라(Lab 및 RGB)특성을 보정하기 위하여 표준색표집 (통상산업부, 한국색채연구소)을 이용하여 표준색 7단계의 칼라에 대하여 보정을 실시하였다.

조명조건별로 영상처리가 이루어진 영상은 색차계에 의해 측정된 칼라 특성(백도, Lab, RGB)과의 다중회귀분석법(Multiple linear regression, MLR)을 실시하여 상관관계가 높은 적정 조명조건을 선정하였다.

표 3-1-1. 3종의 조명(링, 동축, 백라이트) 단독 및 조합조건

| 조명종류 | 밝기(최소) <sup>1)</sup> | 밝기(최대) <sup>1)</sup> | 단계 <sup>2)</sup> |
|------|----------------------|----------------------|------------------|
| 링조명  | 6                    | 11                   | 6                |
| 동축조명 | 90                   | 130                  | 9                |
| 백조명  | 0                    | 16                   | 6                |

주) <sup>1)</sup> 조명 전류값, <sup>2)</sup>  $6 \times 9 \times 6 = 324$ 단계, 백도 11수준

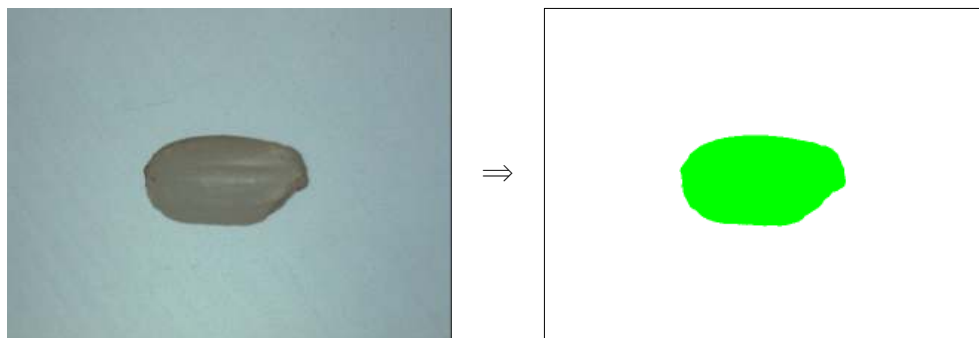


그림 3-1-3. 백도 획득형상 및 배경 영역 추출

### 3) 쌀의 칼라시스템과 백도와의 상관관계

쌀의 칼라에 의한 외관품위 및 도정도의 기준은 백도이며, 보완적으로 RGB, XYZ, Lab 등의 칼라시스템이 이용되는 경우도 있다. 백도는 일종의 반사지수(reflective index)로서, 완전한 darkness을 0으로 하고, 마그네슘 리본을 태웠을 때 발생하는 연기(fume)의 하얀색을 100으로 하고 있으며, 백도의 표시방법은 1986년 국제조명위원회(CIE)가 권장한 내용에 따라 제정된 한국산업규격(KS A0089)에 규정되어 있다.

각 칼라시스템의 칼라인자 사이에는 다음 식(KS A 0066, KS A 0067, KS A 0089 등)에 의거하여 호환할 수 있으며, 각 칼라인자간의 변환은 Jain(1989) 및 Yamashita(1993)의 식(3-1-1)~(3-1-13)을 이용하였다.

측정된 백도와 Lab값을 이용하여 각 칼라시스템의 칼라인자와의 관계식을 SAS 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 개발하였으며, 실험치와 관계식에 의한 예측치간의 결정계수를 이용하여 백도와 칼라인자간의 상관관계를 구명하였다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \dots\dots\dots ( 3-1-1 )$$

여기서, X, Y, Z : CIE Primary colors

$$L = 116 \left[ \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right] - 16 \dots\dots\dots ( 3-1-2 )$$

$$a = 500 \left[ \sqrt[3]{\frac{X}{X_0}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right] \dots\dots\dots ( 3-1-3 )$$

$$b = 200 \left[ \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right] \dots\dots\dots ( 3-1-4 )$$

여기서,  $X_0, Y_0, Z_0 = X, Y, Z$  values for standard white



$$\text{Hunter Whiteness} = 100 - \sqrt{(100 - L^2) + (a^2 + b^2)} \dots\dots\dots ( 3-1-5 )$$

$$Y = 255 \times \left( \frac{L+16}{116} \right)^3 \dots\dots\dots ( 3-1-6 )$$

$$X = 255 \times \left( \frac{a}{500} + \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) \dots\dots\dots ( 3-1-7 )$$

$$Z = 255 \times \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \frac{b}{200} \right)^3 \dots\dots\dots ( 3-1-8 )$$

$$Y_1 = 0.49Y - 0.177X \dots\dots\dots ( 3-1-9 )$$

$$Z_1 = 0.16832Z - 0.0049Y_1 \dots\dots\dots ( 3-1-10 )$$

$$B = \frac{Z_1}{0.16678} \dots\dots\dots ( 3-1-11 )$$

$$G = \frac{0.03001B + Y_1}{0.3435} \dots\dots\dots ( 3-1-12 )$$

$$R = \frac{-0.31G - 0.2B + X}{0.49} \dots\dots\dots ( 3-1-13 )$$

## 라. 실험결과

### 1) 적정 조명조건

동진에 대하여 백도별 11개의 시료를 제작한 백도측정장치를 이용하여 조명조건 별 획득한 영상중에서 백도 및 Lab값과 조명조건과의 상관관계가 있는 측정치를 그림 3-1-4와 같이 나타내었으며, 적정 조명조건을 구명하기 위하여 측정치에 대한 회귀모델은 다음과 같았다. 회귀모델에 의한 적정 조명조건에서의 단립에 대한 영상은 다음의 그림 3-1-5와 같았다.

적정 조명은 링 및 백라이트의 조합형태로서 향후 종합품질측정시스템의 개발에 기초자료로 활용이 가능하였다.

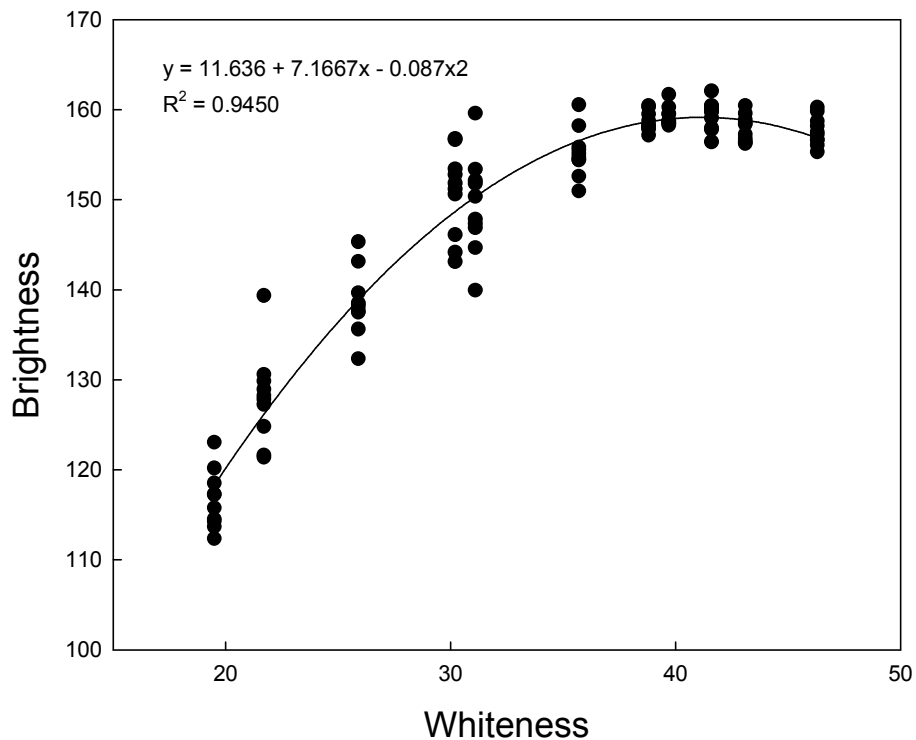


그림 3-1-4. 쌀의 기준백도 및 백도측정장치에 의한 측정치와의 관계



백도 19(현미)



백도 24



백도 27



백도 30



백도 33



백도 36



백도 40



백도 45

그림 3-1-5. 백도측정장치의 적정 조명조건하에서 획득된 영상  
(해상도를 640×480에서 150×120으로 조정)

## 2) 쌀의 칼라시스템과 백도와의 상관관계

Lab 칼라 CIE(Commission Internationale d' Eclairage)라는 국제 표준 칼라 측정기구에 의하여 1976년 재정립된 칼라 체계로 CIE Lab모형을 말한다. Lab 칼라에서 L은 밝기인 명도(Luminosity)를 말하며 a는 녹색에서 적색의 보색, b는 황색에서 청색의 보색을 뜻한다.

L(luminosity) - 명도측

a - 빨강(Red) / 초록(Green) 의 보색(a complementary color)측

b - 노랑(Yellow) / 파랑(Blue) 의 보색(a complementary color)측

4품종(남평, 동진, 일미 및 추청)의 쌀을 이용하여 백도와 칼라시스템의 칼라인자와의 실험모델을 다음의 표 3-1-2와 같이 개발하였다.

각 실험모델의 결정계수는 Lab시스템에서 0.838~0.947범위, RGB시스템에서는 0.812~0.919범위로 나타났으며, 이중에서 특히, b값의 결정계수는 0.947로 가장 높게 나타나 b값이 쌀의 백도를 잘 표현할 수 있는 칼라인자로 판단되었다. 또한, a값의 결정계수도 0.946으로서 표현 가능한 칼라인자로 판단되었다.

Lab시스템에서 백도에 따른 칼라인자와의 실험치 및 모델의 예측치는 다음의 그림 3-1-6~3-1-8과 같이 나타났으며, b값은 백도 20~47범위에서 8~26범위로서 비교적 넓은 범위에서 예측이 가능하였으며, a값은 결정계수는 0.946으로 높았으나, -1~6범위로 다소 좁은 범위로서 예측에 한계가 있을 것으로 판단되었다. L값은 b값과 마찬가지로 비교적 넓은 범위에서 예측이 가능하였지만 결정계수가 다소 낮은(0.838) 수준이었다.

표 3-1-2. 백도 및 칼라시스템의 칼라인자와의 실험모델

| Color system | Color factor     | Regression equation<br>whiteness = f(color factor) | Determination coefficient |
|--------------|------------------|--|---------------------------|
| Lab          | L                | $y = -240.521 + 6.05811x - 0.02987x^2$             | 0.838                     |
|              | a                | $y = 36.53672 - 7.3723x + 0.8255x^2$               | 0.946                     |
|              | b                | $y = 77.52984 - 4.11838x + 0.07138x^2$             | 0.947                     |
|              | Hunter whiteness | $y = -89.568 + 12.4589x - 0.1458x^2$               | 0.936                     |
| RGB          | R                | $y = -215.8598 + 2.1625x - 0.0157x^2$              | 0.812                     |
|              | G                | $y = -96.2689 + 1.8547x - 0.0356x^2$               | 0.915                     |
|              | B                | $y = -45.4987 + 2.3369x - 0.0145x^2$               | 0.919                     |

y: whiteness

x: color factors

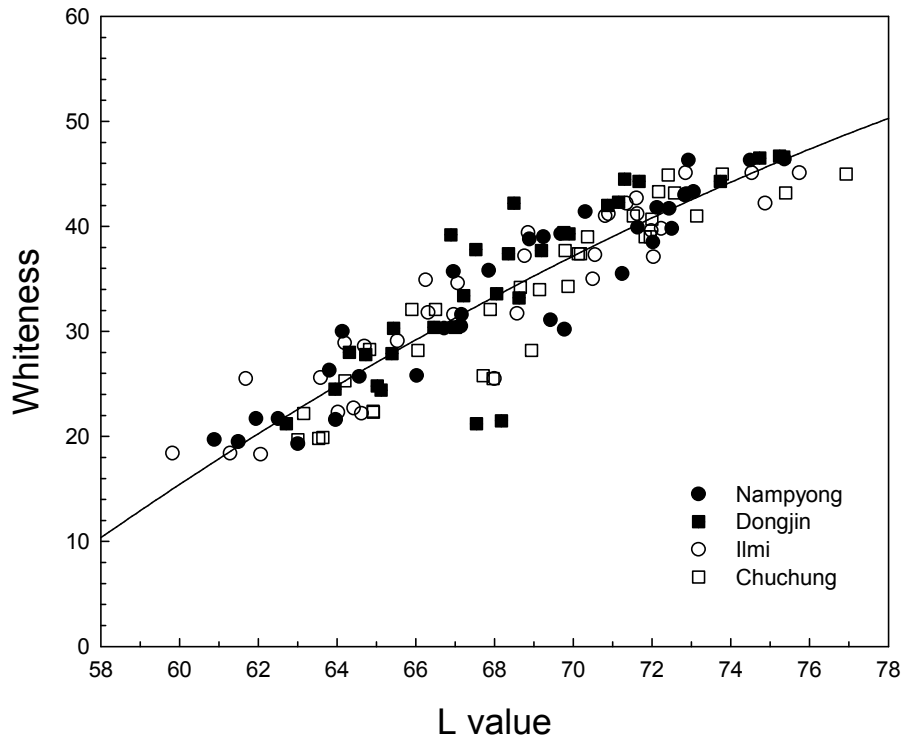


그림 3-1-6. 쌀의 백도와 L값과의 관계

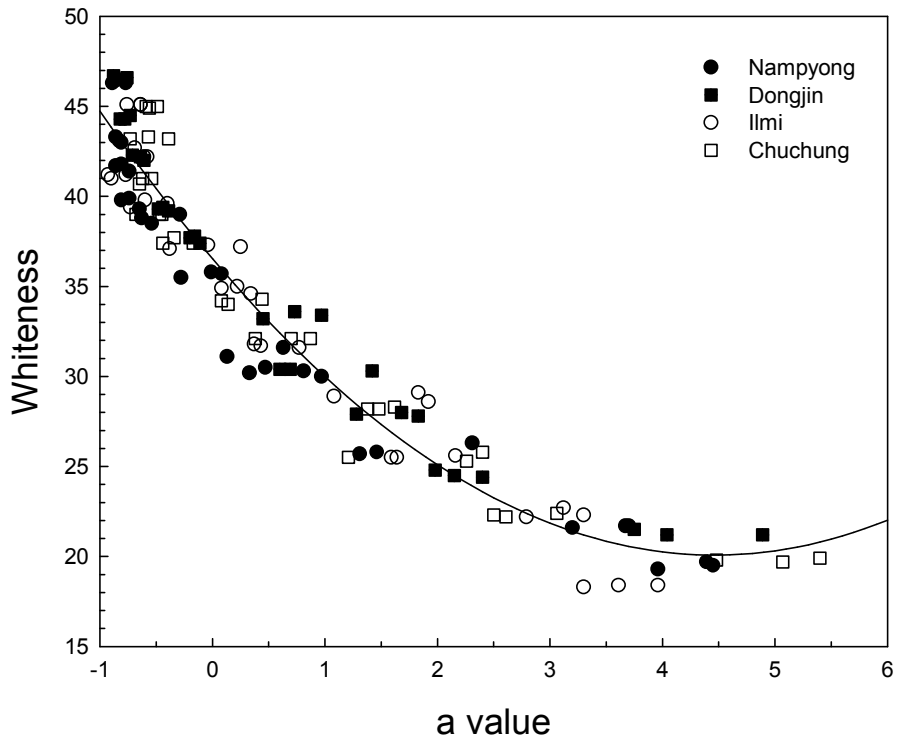


그림 3-1-7. 쌀의 백도와 a값과의 관계

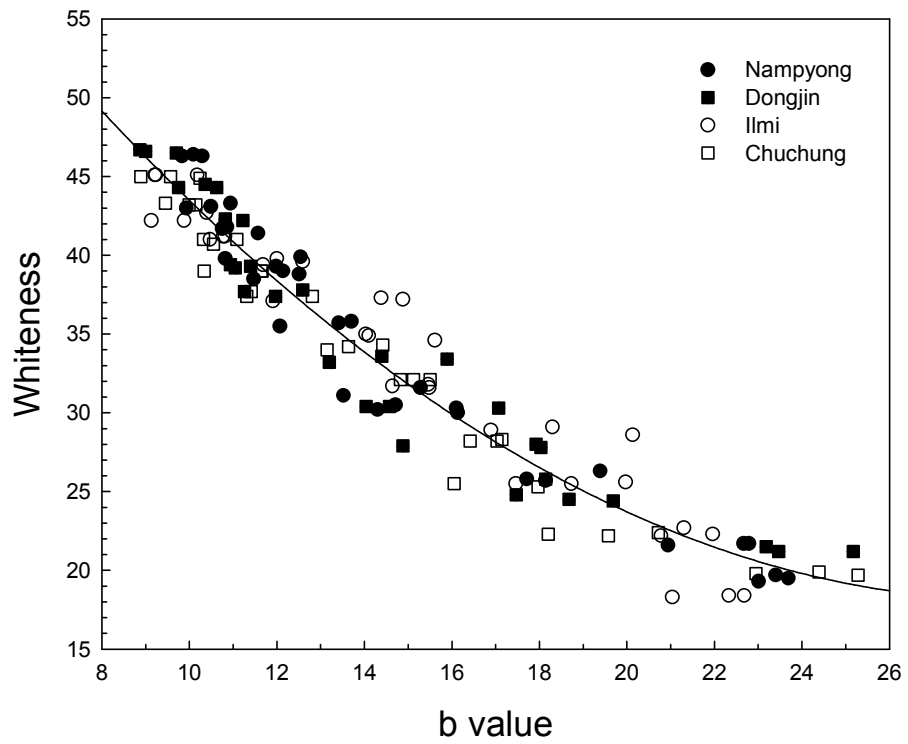


그림 3-1-8. 쌀의 백도와 b값과의 관계



## 2. 투명도 측정기술 개발

### 가. 쌀의 투명도

투명도(透明度, transparency)는 일반적으로 물의 투명한 정도로서 물 속의 미생물의 양에 반비례하는데, 투명도는 색도나 탁도와 관계가 있다. 플라스틱, 유리, 필름 등과 같은 물체에 대하여 빛이 투과하는 정도를 투과도라고 하며, 어떤 물체의 투명의 정도 즉, 흐림의 높고 낮음을 빛이 투과하는 정도로 표현되고 있다.

고품질 쌀은 낱알이 충실하고 이물이 없고 적당한 함수율과 강층을 완전히 제거한 투명도와 윤기가 뛰어나며, 고유 향미가 많은 좋은 쌀, 성분기준이 적정한 쌀로 정의되고 있다(농림부 국립농산물품질관리원). 또한, 쌀의 등급규정에도 강층이 잘 제거되고, 투명도가 뛰어나 쌀을 기준하고 있다. 따라서, 쌀의 투명도는 우리 고유의 품질인자로서 흐림이 적은 쌀을 투명도가 뛰어난 쌀로 표현할 수 있으며, 이는 빛이 투과하는 정도로 계량화 할 수 있으며, 산물상태로는 빛의 투과도가 두께에 절대적인 영향을 미치므로 단립으로 측정이 타당한 것으로 판단된다.

산업용으로 사용되는 물체에 대한 투과도의 측정방법은 일반적으로 규격화(ISO 13468, ASTM D 1003, JIS K7361 등)가 되어 있으며, 투과도 측정장치(Turbidimeter 또는 Hazemeter)도 보편화 되어있다. 투과도는 평행투과도, 확산투과도 및 전투과도로 구분할 수 있으며, 이를 이용하여 Haze(흐림도)의 측정이 가능하며, 통상적으로 투과도측정장치는 400~700nm영역에서 주로 측정하고 있다.

### 나. 실험장치 및 방법

쌀의 투과도를 측정하는 기준은 보고되고 있지 않으며, 일반적으로 적정한 조명조건하에서 다수의 사람이 육안으로 판별하는 수준으로서 이에 대한 정립이 필요하다. 따라서, 쌀의 투명도를 측정하기 위하여 물체에 대한 투과도 측정방법을 참고하여 CCD카메라를 이용하는 방법과 NIR을 이

용하는 방법 등 2가지 방법으로 투명도 측정 가능여부를 검토하였다.

2가지 방법에 대한 투명도 측정모형을 개발하기 위하여 아크릴산수지를 이용하여 표준투명도판을 두께, 투명도 조건 등 투명도 단계별로 27개를 제작하였으며, 투명도 측정은 ISO 기준에 적합한 장비(NDH-5000, Nippon Denshoku, Japan)를 사용하였으며, 3회 반복 측정하여 평균치를 이용하였다. 이때 투과도의 범위는 0.09~107 수준이었다.

표준투명도판의 투명도 측정치는 표 3-1-3과 같으며, 투명도 측정원리는 그림 3-1-9와 같다. 그림에서와 같이 광은 sample을 투과하고 적분구 내에 입사하게 되며, 이때 광은 확산 및 평행투과도로 분리되며, 이 광들은 적분구 내에 반사하여 수광소자에서 수집하게 된다. 수광소자에 의해 수집된 광 정보는 계측부로 전송하게 된다.

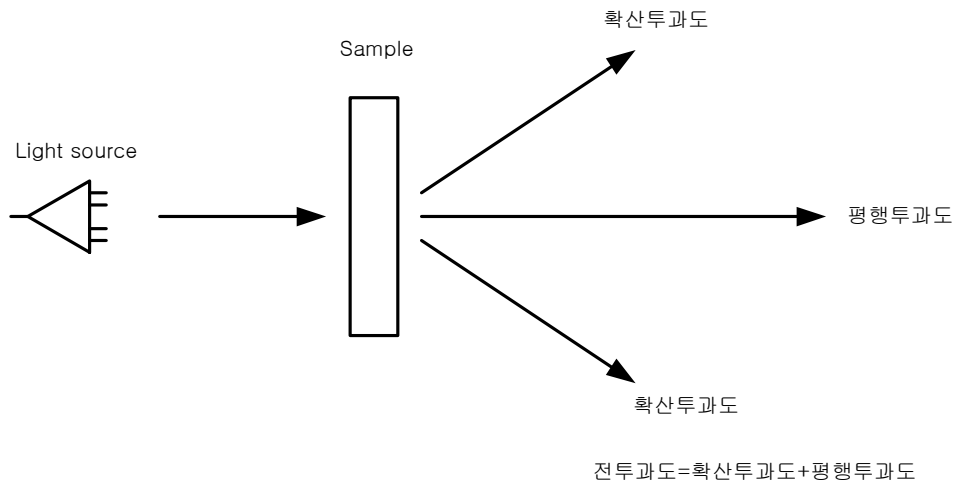


그림 3-1-9. 투과도 측정방법

표 3-1-3. 투과도판(시료)의 투과도 측정치

|    | Total Transmittance | Diffusion Transmittance | Parallel Transmittance |
|----|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1  | 106.87              | 0.00                    | 107.02                 |
| 2  | 99.83               | 0.09                    | 99.74                  |
| 3  | 93.70               | 0.35                    | 93.24                  |
| 4  | 93.22               | 90.47                   | 2.75                   |
| 5  | 66.23               | 65.10                   | 1.13                   |
| 6  | 45.46               | 44.76                   | 0.70                   |
| 7  | 29.65               | 29.26                   | 0.39                   |
| 8  | 16.45               | 16.23                   | 0.22                   |
| 9  | 10.73               | 10.59                   | 0.14                   |
| 10 | 106.82              | 0.11                    | 106.71                 |
| 11 | 99.75               | 0.51                    | 99.24                  |
| 12 | 93.64               | 0.72                    | 92.91                  |
| 13 | 83.78               | 82.14                   | 1.64                   |
| 14 | 51.10               | 50.31                   | 0.79                   |
| 15 | 31.43               | 30.95                   | 0.48                   |
| 16 | 29.85               | 29.45                   | 0.40                   |
| 17 | 15.66               | 15.45                   | 0.21                   |
| 18 | 9.62                | 9.49                    | 0.13                   |
| 19 | 106.99              | 0.13                    | 106.86                 |
| 20 | 99.88               | 0.61                    | 99.27                  |
| 21 | 93.62               | 1.00                    | 92.62                  |
| 22 | 75.80               | 74.42                   | 1.38                   |
| 23 | 40.38               | 39.75                   | 0.63                   |
| 24 | 21.16               | 20.83                   | 0.32                   |
| 25 | 29.81               | 29.41                   | 0.40                   |
| 26 | 13.42               | 13.24                   | 0.18                   |
| 27 | 6.80                | 6.71                    | 0.09                   |

제작된 표준투명도판을 이용하여 CCD카메라를 이용한 영상처리방법과 NIR을 이용한 방법으로 각각 측정가능성을 검토하였으며, 적정 모델을 개발하였다.

영상처리방법은 3종의 조명 즉, Ring, Co-axial, Back light를 조명의 밝기를 단계별로 변화하면서, 단독 또는 조합된 조명하에서 영상을 획득하였다. 획득된 영상은 다중회귀분석을 이용하여 결정계수를 이용하여 최적 영상조건 및 모델을 선정하였다. 모델의 선정에는 10개의 표준시료를 이용하였으며, 20개의 표준시료를 모델의 검증에 사용하였다.

NIR을 이용하는 방법은 근적외선분광분석기(Model6500, NIRSystems Inc, USA)를 이용하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼 400nm~2500nm의 파장범위에서 2nm 간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정하였으며, 400~1,100nm에는 Si센서, 1,100~2,500nm에는 Pbs센서를 사용하였다. 표준투명도판 81개의 시료를 준비한 후 각각의 투명도판에 광선을 32회 주사(scan)하여 측정한 후 평균한 스펙트럼은 흡광도( $\log(1/R)$ )로 변환하여 PC에 저장하였다.

투명도에 따른 스펙트럼을 분석하기 위하여 기존의 상용프로그램인 unscrambler(ver 7.0, Camo co., USA)로 다중회귀분석법(Multiple linear regression, MLR), 부분최소자승법(Partial least square, PLS) 등을 이용하였다. 흡광도로 표시된 스펙트럼과 그에 해당하는 투명도값(확산, 평행 및 전)을 입력하고 파장범위, 수학적 처리 및 전처리방법을 설정하여 결정계수, 교정부 오차 등으로 분석하였다.

## 다. 실험결과

### 1) 영상처리시스템을 이용한 투명도 모델

투과도(표준값)에 따른 영상처리시스템의 RGB 칼라시스템의 밝기는 식(3-1-1)과 같이 밝기가 증가할수록 투과도도 지수적으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, RGB에 따른 투명도 모델을 다음의 식(3-1-14)과 같이 지수함수모델로 선정하였다.

영상처리시스템에서 측정한 RGB 각각의 칼라밝기 인자별 모델의 실험 상수 및 결정계수는 다음의 표 3-1-4와 같다. 표에서와 같이 영상처리시스템의 RGB값에 따른 투과도 모델의 결정계수는 0.9296~0.9753으로 만족한 수준으로 나타나 영상처리시스템으로 투과도의 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

$$Y = a \exp(bx) \dots\dots\dots (3-1-14)$$

여기서,  $Y$  : Transmittance (%)

$x$  : RGB Color system

$b, a$  : Parameters

표 3-1-4. 영상처리시스템의 RGB에 따른 식(3-1-1)의 상수 및 결정계수

| Color system | Parameters |        | Determination coefficient |
|--------------|------------|--------|---------------------------|
|              | a          | b      |                           |
| R            | 5.9029     | 0.0131 | 0.975                     |
| G            | 5.4616     | 0.0123 | 0.932                     |
| B            | 5.2758     | 0.0125 | 0.930                     |

개발한 투과도 모델에 의한 예측치와 영상처리시스템으로 측정한 실측치를 다음의 그림 3-1-10~3-1-12와 같이 나타내었다.

그림에서와 같이 영상처리시스템의 R값에 의한 모델의 예측치와 실측치와의 결정계수는 0.9584로서 40~220영역에서 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그림 3-1-11의 영상처리시스템 G값에 의한 모델의 예측치와 실측치와의 결정계수는 0.9077로서 40~180 영역에서 잘 일치하였지만 180이후에서는 다소 오차가 나타났다. 그림 3-1-12의 영상처리시스템 B값에 의한 모델의 예측치와 실측치와의 결정계수는 0.8845로서 40~180 영역에서 잘 일치하였지만 180이후에서는 다소 오차가 나타났다.

따라서, RGB 칼라시스템에서 R값은 G, B에 비해 결정계수도 높게 나타났다고, 전체영역에서도 잘 일치하여 가장 적절한 모델로 판단되었다. 그러나, 백미의 투과도는 대부분 70이하로서 백미에 대하여 G, B값에 의한 모델도 적용이 가능한 것으로 판단된다.

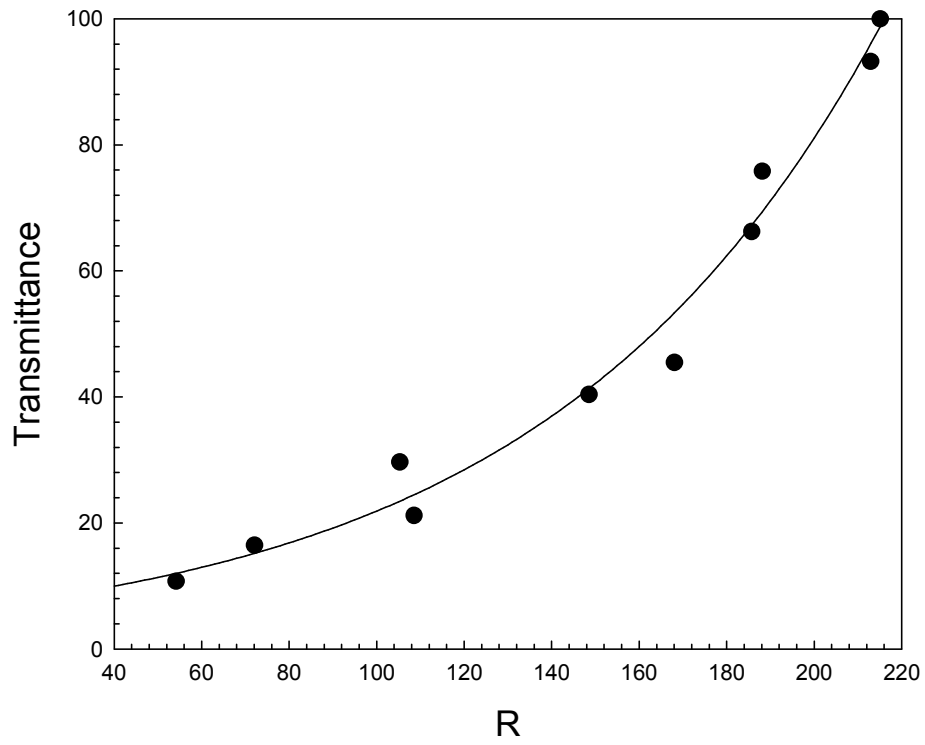


그림 3-1-10. 영상처리시스템의 R값에 따른 투과도 변화

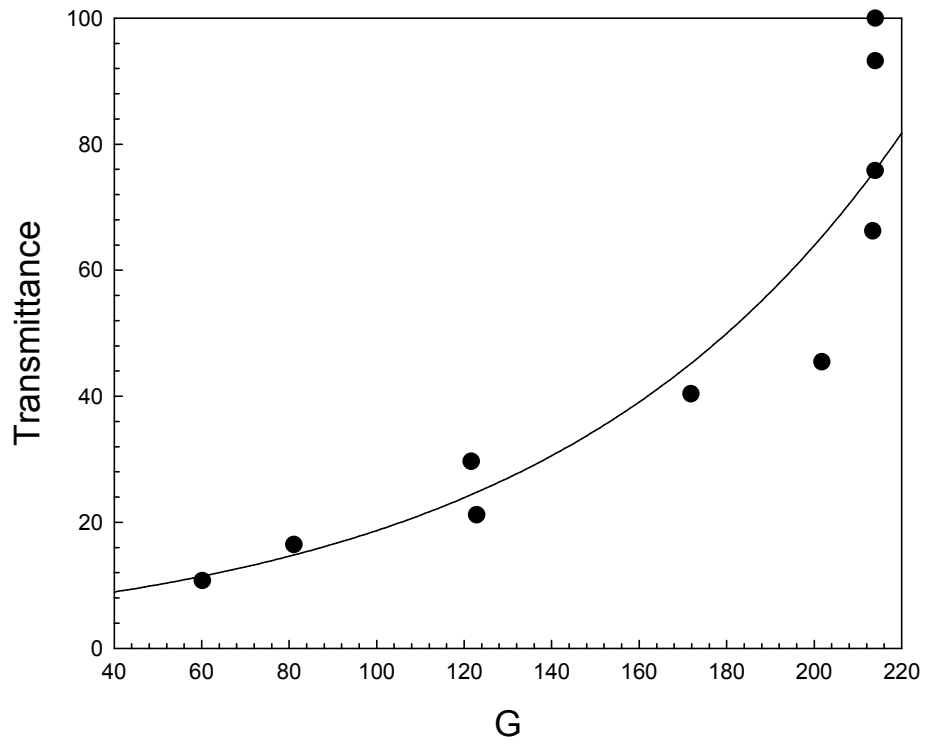


그림 3-1-11. 영상처리시스템의 G값에 따른 투과도 변화



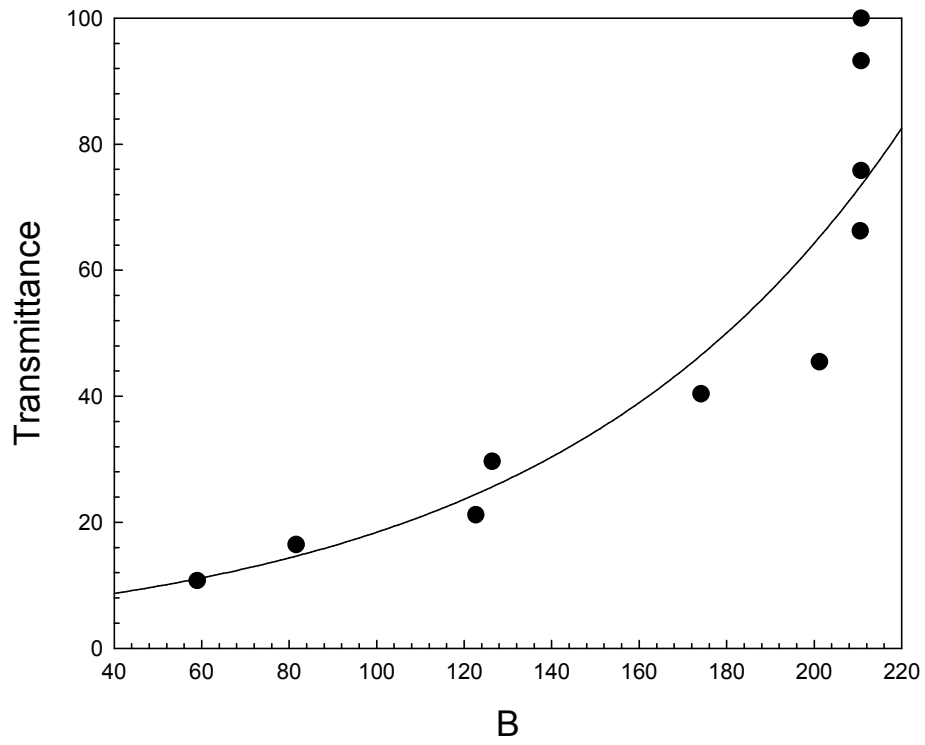


그림 3-1-12. 영상처리시스템의 B값에 따른 투과도 변화

## 2) NIR을 이용한 투과도 모델

가시광선 및 근적외선 영역이 포함된 400~2500nm 영역에서 2nm 간격으로 측정된 반사 스펙트럼은 다음의 그림 3-1-13과 같다. 그림에서와 같이 가시광선 영역에서 투과도가 낮게 나타났으며, 투과도가 증가할 수록 흡광도는 낮게 나타났다.

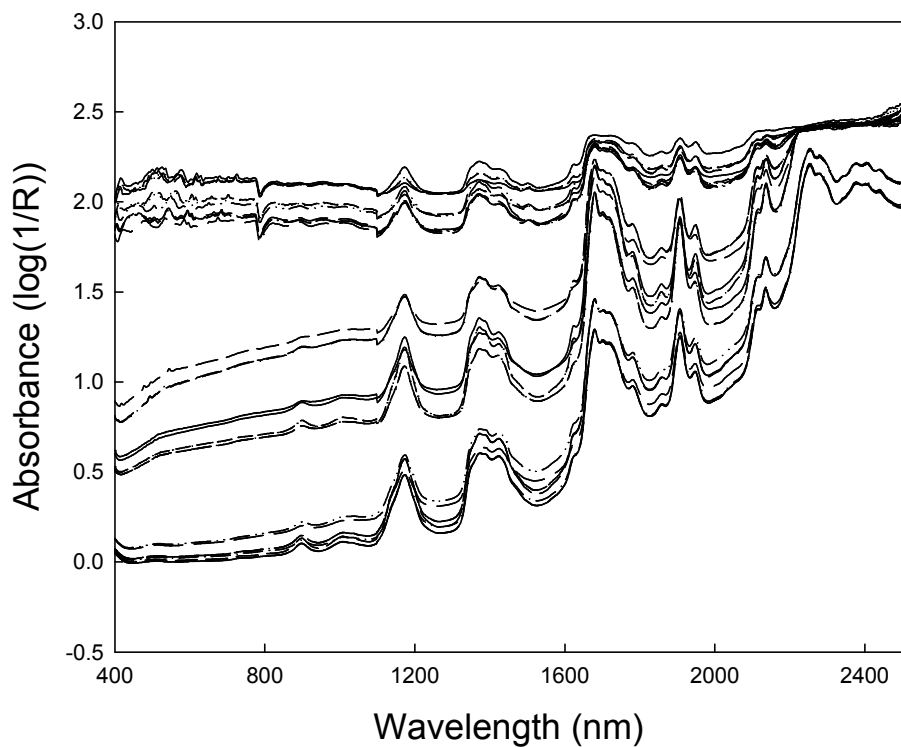


그림 3-1-13. 81개 시료(투명도)의 흡광도 원시스펙트럼

반사 스펙트럼의 흡광도를 이용한 PLS 모델의 개발 및 검증결과는 다음의 표 3-1-5와 같다. 원시 스펙트럼의 흡광도에서 400~2500nm의 전 파장 영역에서 PLS 분석을 한 결과 높은 상관관계를 나타내었다.

근적외선 영역인 1100~2200nm에의 결정계수도 0.99로 높은 상관관계를 나타내었다. 400~1100nm와 가시광선영역인 400~800nm에서의 결정계수는 다소 낮게 나타났지만 0.96~0.98 범위로 비교적 만족한 수준이었다(그림 3-1-14~3-1-16). 따라서, 가시광선영역에서 실용적으로 투명도 측정이 가능할 것으로 판단되었다.

표 3-1-5. PLS 모델의 개발 및 검증 결과

| Detector ranges | Wavelength (nm) | Calibration(n = 41) |                |      | Prediction(n = 40) |      |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|------|--------------------|------|
|                 |                 | PC                  | R <sup>2</sup> | SEC  | R <sup>2</sup>     | SEP  |
| VIS             | 400~800         | 4                   | 0.96           | 7.25 | 0.97               | 6.65 |
| VIS/NIR         | 400~1100        | 3                   | 0.98           | 5.61 | 0.98               | 5.27 |
| VIS/NIR         | 400~2500        | 4                   | 0.99           | 2.91 | 0.99               | 2.69 |
| NIR             | 1100~1700       | 3                   | 0.96           | 7.31 | 0.96               | 7.42 |
| NIR             | 1100~2200       | 7                   | 0.99           | 3.01 | 0.99               | 2.71 |

SEC : Standard error of validation

SEP : Standard error of prediction

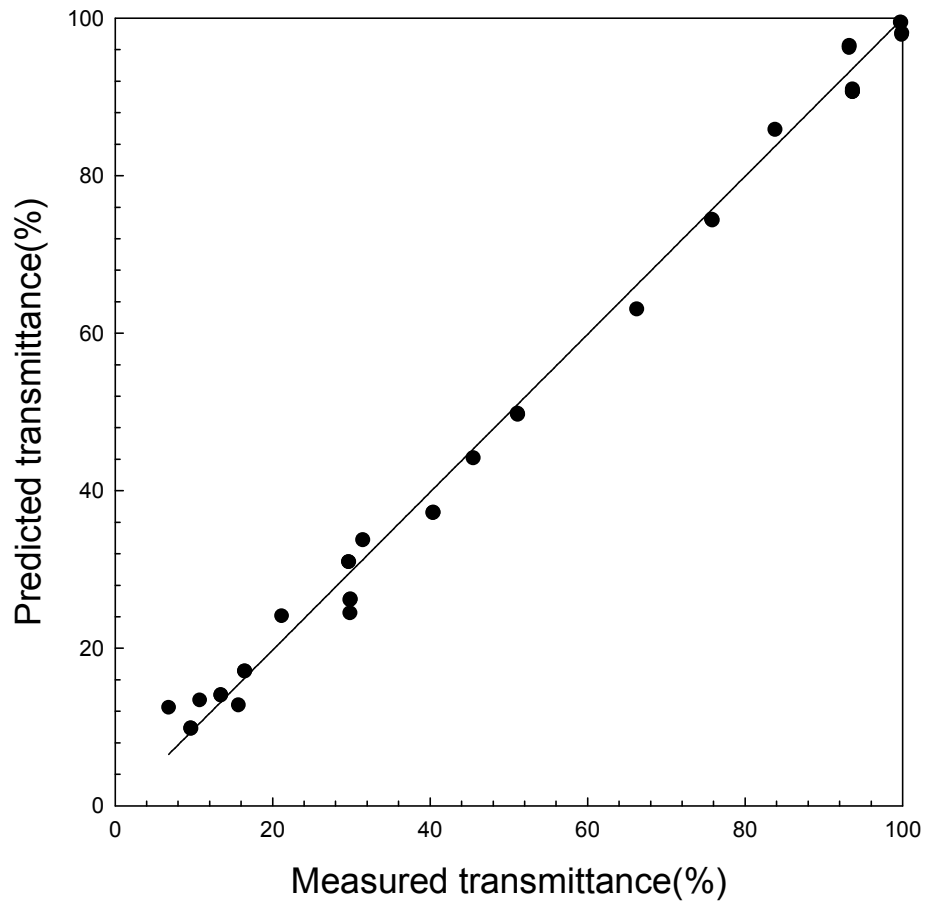


그림 3-1-14. 400~2500nm 영역에서 실측치와 예측치의 비교

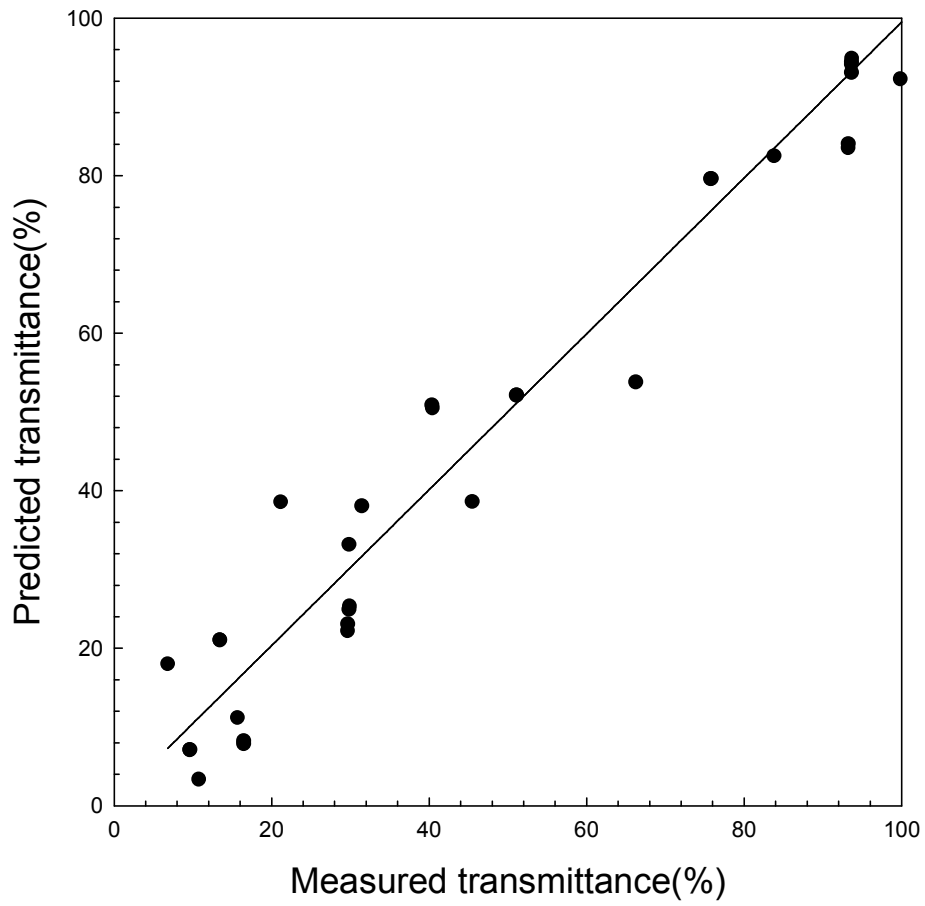


그림 3-1-15. 400~800nm 영역에서 실측치와 예측치의 비교

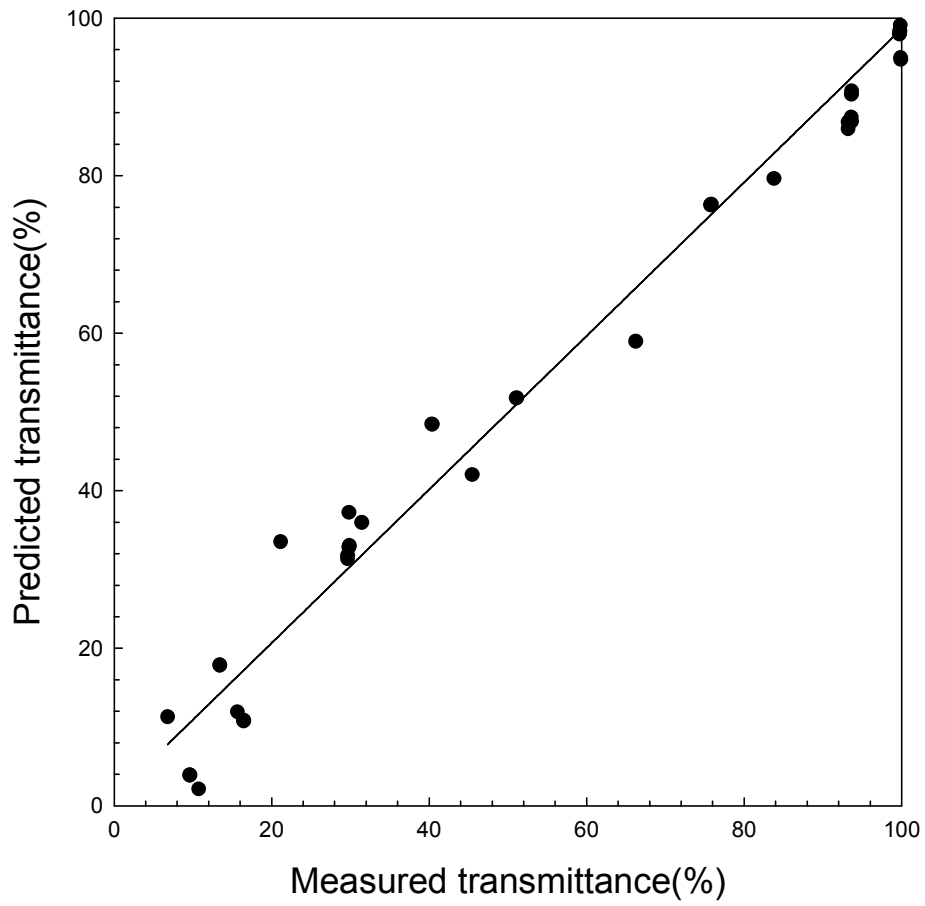


그림 3-1-16. 400~1100nm 영역에서 실측치와 예측치의 비교

### 3. 광택 측정기술 개발

#### 가. 쌀의 광택

광택(光澤, Gloss)은 물체 표면의 물리적 속성으로서, 빛을 정반사하는 정도를 나타내는 값으로서, 물체 표면을 구성하고 있는 물질과 거칠기 및 형상에 따라 크게 변하게 된다.

광택의 측정방법은 물질에 따라 다소 차이가 있으며, 종이 및 판지, 거울면 등 재료의 측정방법은 규격화(ISO 7668, JIS Z8741, KSMISO 8254 등)가 되어있으며, 규격 기준에 적합한 광택도계(Gloss meter)가 보급되고 있다.

물체의 표면에 반사하는 광은 일정한 분포를 가지고 정반사 방향의 근방에 있는 넓이를 경면 반사 성분과 물체의 내부에 있는 굴절율의 불균일한 부분에서 확산시켜 모든 방향으로 거의 일정한 강도로 반사시에는 확산 반사 성분이 된다. 광택은 반사광 분포의 상위에 따라 생기는 것이다. 분포형은 시료에 따라 매우 다르기 때문에 단지 한쪽의 측정법 수치로 광택을 나타내는 것은 부적당하다. 일반적으로 광택은 경면광택, 사이소광택, 대배광택, 선명도 광택 등이 있는데 경면광택은 정반사 방향의 광으로 표시되며, 미끄러운 표면의 미세한 요, 철 등 시료의 굴절율 등에 관계하여, 객관적인 양으로서 광택을 나타내는데 적합하다.

기본적인 측정원리는 그림 3-1-17과 같이 반사광 중의 정반사 방향으로 향하는 광을 수광기(수광소자)로 측정한다. 측정치는 굴절율 1.567의 glass표면의 광택을 100으로 할 때의 값(%)로 표시한다. 정반사광이 아닌 경우 즉  $\theta$ 가 다를 경우는 산란광이라 하며, 광택으로 표현하지는 않는다. 보통의 플라스틱에서는 입사각  $\theta$ 는 45도 또는 60도가 적용되지만 광택도가 높은 도장면에서는 20도가 많이 사용된다. 일반적으로 광택이 큰 물체에는  $\theta$ 가 작지만 시료간의 차가 적으므로 측정이 용이하지는 않다.

쌀의 광택은 표면의 물리적 속성으로서 윤기를 의미하며, 쌀의 윤기를 측정하는 방법은 전무한 실정이다.

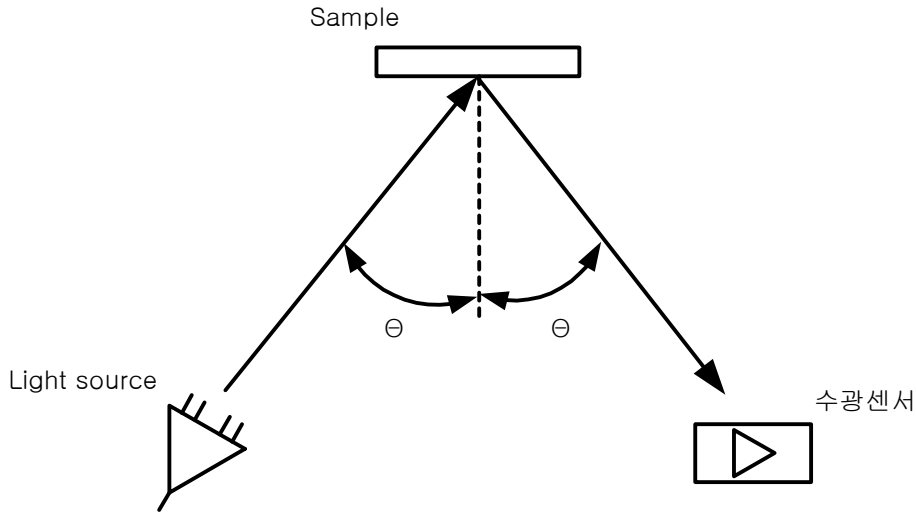


그림 3-1-17. 광택측정의 기본원리

#### 나. 실험장치 및 방법

쌀의 윤기를 측정하는 기준은 전무한 실정으로 일반적으로 적정한 조명 조건하에서 다수의 사람이 육안으로 판별하는 수준이며, 단립의 경우 육안으로 측정하기에는 윤기의 정도가 비교적 낮고, 쌀 표면이 구에 가까워 산란이 많이 발생하여 측정이 용이하지 않다. 따라서, 윤기는 산물상태로 측정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 쌀의 윤기를 측정하기 위하여 물체에 대한 광택 측정방법을 참고하여 CCD카메라를 이용하는 방법과 NIR을 이용하는 방법 등 2가지 방법으로 윤기 측정 가능여부를 검토하였다. 본 연구에서 개발하는 종합품질측정장치는 영상시스템과 NIR시스템이 복합적으로 사용되는 장치로서 이를 고려하였다.

2가지 방법에 대한 윤기 모델을 개발하기 위하여 플라스틱수지를 이용하여 표준광택도판을 광택의 단계별로 12단계의 시료를 제작하였다.

제작한 표준광택도판은 제품의 양산을 통해 물리적 검증을 거친 소재를 이용하였으며, 광택의 형태를 유광(Gloss) 및 반광(Semi Gloss) 등 2가지 형태를 기준으로 각각의 광택도를 단계별로 적용하였다. 광택 측정은 ISO



기준 장비(PG-1M, Nippon Denshoku, Japan)를 사용하였으며, 측정각도는 20, 60 및 85도 등 3각도가 가능하였다. 제작한 표준광택도판에 대하여 동축조명 및 링조명에 의한 영상을 획득하였다. 이 때 링조명은 높이별 2단계에 대하여 영상을 획득하였다.

NIR을 이용하는 방법은 근적외선분광분석기(Model6500, NIRSystems Inc, USA)를 이용하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼 400nm~2500nm의 파장범위에서 2nm 간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정하였으며, 400~1,100nm에는 Si센서, 1,100~2,500nm에는 Pbs센서를 사용하였다. 표준광택도판에 광선을 32회 주사(scan)하여 측정한 후 평균한 스펙트럼은 흡광도( $\log(1/R)$ )로 변환하여 PC에 저장하였다.

광택도에 따른 스펙트럼을 분석하기 위하여 기존의 상용프로그램인 unscrambler(ver 7.0, Camo co., USA)로 다중회귀분석법(Multiple linear regression, MLR), 부분최소자승법(Partial least square, PLS) 등을 이용하였다. 흡광도로 표시된 스펙트럼과 그에 해당하는 광택치를 입력하고 파장범위, 수학적 처리 및 전처리방법을 설정하여 결정계수, 교정부 오차 등으로 분석하였다.

## 다. 실험결과

### 1) 영상처리시스템을 이용한 광택 모델

광택(표준값)에 따른 영상처리시스템의 RGB 칼라시스템의 밝기는 동축조명에서는 지수함수로 증가하였으며, 링조명은 감소하는 경향이였다. 동축 및 링조명하에서 영상처리시스템에서 획득한 영상의 RGB 칼라시스템의 밝기는 다음의 표 3-1-6~3-1-8과 같다. 표에서와 같이 동축조명하에서는 B값의 결정계수가 다소 높았으며, 각도가 높을수록 결정계수도 높게 나타났다. 링조명하에서는 조명의 높이를 최대(조사각도 20°)로 했을 때 가 최소(조사각도 45°)로 했을 때 보다 결정계수가 높게 나타났으며, 동축조명과 마찬가지로 B값의 결정계수가 높게 나타났다.

표 3-1-6. 동축조명하에서의 칼라시스템 및 각도별 실험모델 및 결정계수

| Color system | Degree(°C) | Model                      | Determination coefficient |
|--------------|------------|----------------------------|---------------------------|
| R            | 20         | $Y = 0.000005\exp(0.674x)$ | 0.954                     |
|              | 60         | $Y = 0.0048\exp(0.429x)$   | 0.959                     |
|              | 80         | $Y = 0.0045\exp(0.459x)$   | 0.963                     |
| G            | 20         | $Y = 0.00005\exp(0.513x)$  | 0.969                     |
|              | 60         | $Y = 0.002\exp(0.326x)$    | 0.972                     |
|              | 80         | $Y = 0.002\exp(0.348x)$    | 0.973                     |
| B            | 20         | $Y = 0.00007\exp(0.542x)$  | 0.973                     |
|              | 60         | $Y = 0.0025\exp(0.345x)$   | 0.975                     |
|              | 80         | $Y = 0.0027\exp(0.368x)$   | 0.976                     |

표 3-1-7. 링조명하(조명높이 최소)에서의 칼라시스템 및 각도별 실험모델 및 결정계수

| Color system | Degree(°C) | Model                     | Determination coefficient |
|--------------|------------|---------------------------|---------------------------|
| R            | 20         | $Y = 322.88\exp(-0.739x)$ | 0.892                     |
|              | 60         | $Y = 430.49\exp(-0.470x)$ | 0.894                     |
|              | 80         | $Y = 875.22\exp(-0.500x)$ | 0.890                     |
| G            | 20         | $Y = 79.49\exp(-0.653x)$  | 0.870                     |
|              | 60         | $Y = 76.68\exp(-0.416x)$  | 0.872                     |
|              | 80         | $Y = 338.69\exp(-0.442x)$ | 0.867                     |
| B            | 20         | $Y = 55.40\exp(-0.641x)$  | 0.863                     |
|              | 60         | $Y = 40.25\exp(-0.408x)$  | 0.865                     |
|              | 80         | $Y = 264.37\exp(-0.433x)$ | 0.858                     |

표 3-1-8. 링조명하(조명높이 최대)에서의 칼라시스템 및 각도별 실험모델 및 결정계수

| Color system | Degree(°C) | Model                     | Determination coefficient |
|--------------|------------|---------------------------|---------------------------|
| R            | 20         | $Y = 50.359\exp(-0.198x)$ | 0.893                     |
|              | 60         | $Y = 133.04\exp(0.127x)$  | 0.902                     |
|              | 80         | $Y = 252.21\exp(-0.135x)$ | 0.903                     |
| G            | 20         | $Y = 34.38\exp(-0.164x)$  | 0.890                     |
|              | 60         | $Y = 104.24\exp(-0.105x)$ | 0.898                     |
|              | 80         | $Y = 194.35\exp(-0.112x)$ | 0.899                     |
| B            | 20         | $Y = 34.59\exp(-0.164x)$  | 0.894                     |
|              | 60         | $Y = 104.61\exp(-0.105x)$ | 0.903                     |
|              | 80         | $Y = 195.05\exp(-0.112x)$ | 0.903                     |

동축 및 링조명하에서 영상처리시스템의 B값의 밝기로 개발한 광택모델에 의한 예측치와 영상처리시스템으로 측정한 실측치를 다음의 그림 3-1-18~3-1-23과 같이 나타내었다.

동축조명하에서 각도 20, 60 및 80°C에서 결정계수는 0.962, 0.972 및 0.974로서 만족한 수준이었으며, 각도가 증가할수록 결정계수도 높아졌으나 미비한 수준이었다. 링조명하에서 각도 20, 60 및 80°C에서 결정계수는 0.897, 0.902 및 0.886으로서 동축조명하에서 보다는 결정계수가 다소 낮았으며, 각도별로도 경향이 뚜렷하지 않았다.

따라서, 동축조명하에서 RGB 칼라시스템의 B값의 밝기는 다른 조건에 비해 결정계수도 높게 나타났고, 전체영역에서도 잘 일치하여 가장 적절한 모델로 판단되었다.

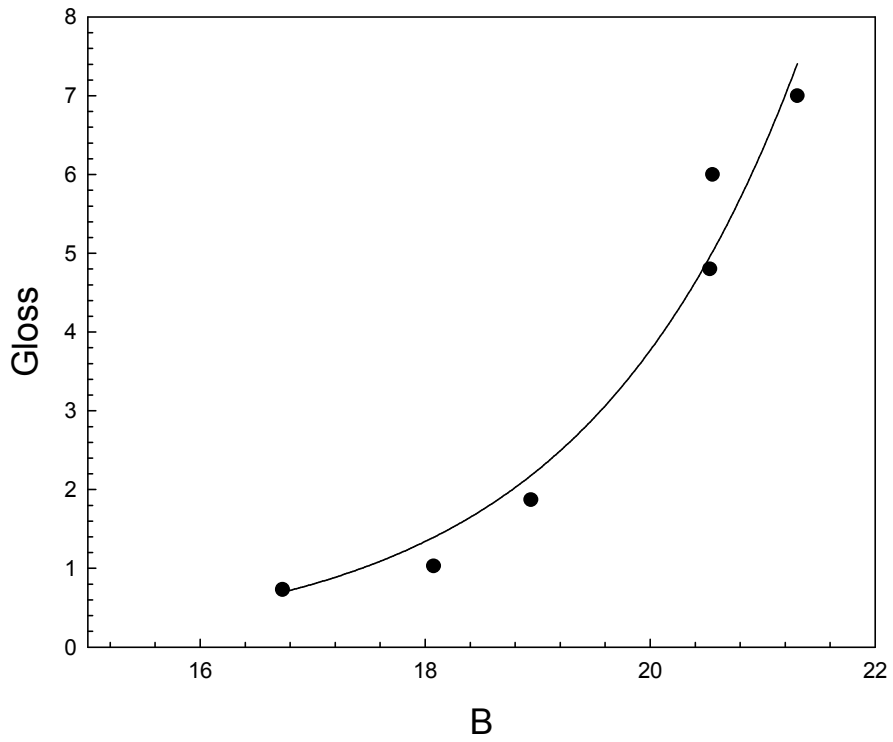


그림 3-1-18. 동축조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(20도) 변화

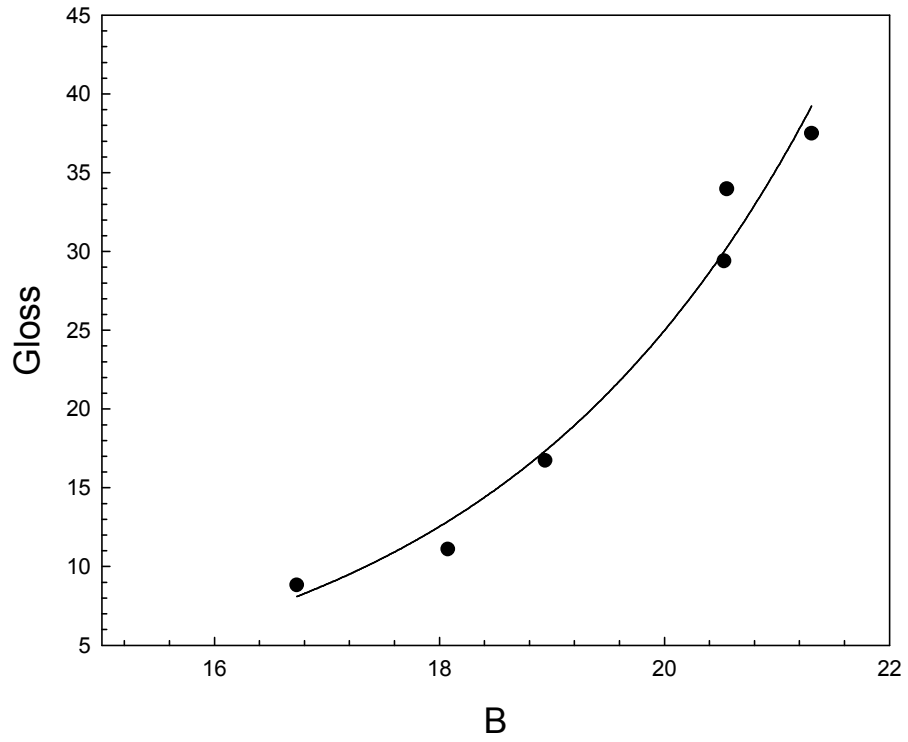


그림 3-1-19. 동축조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(60도) 변화

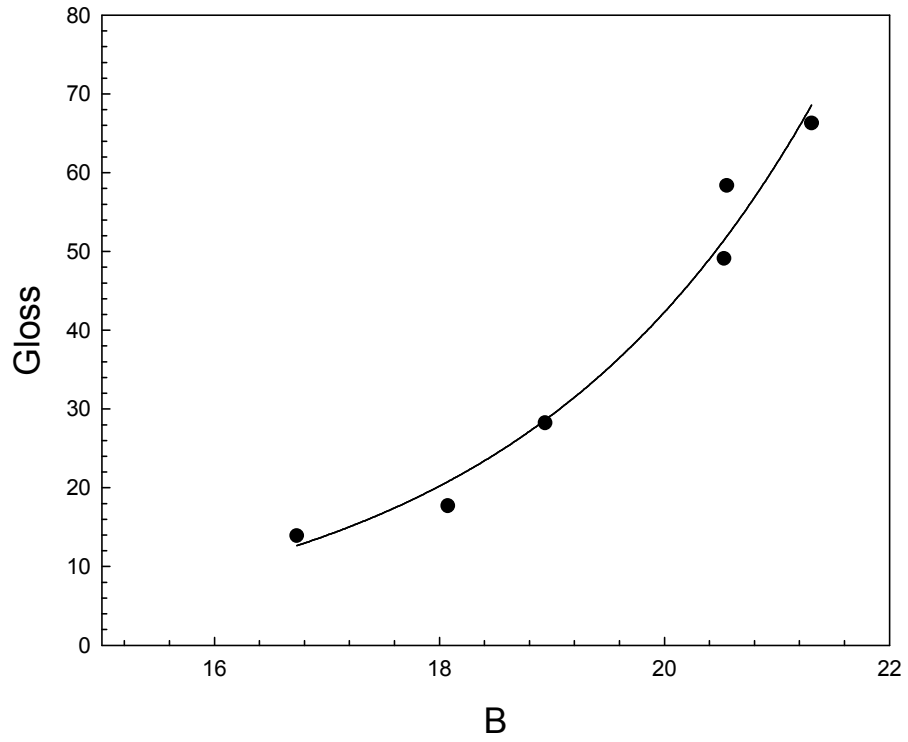


그림 3-1-20. 동축조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(80도) 변화

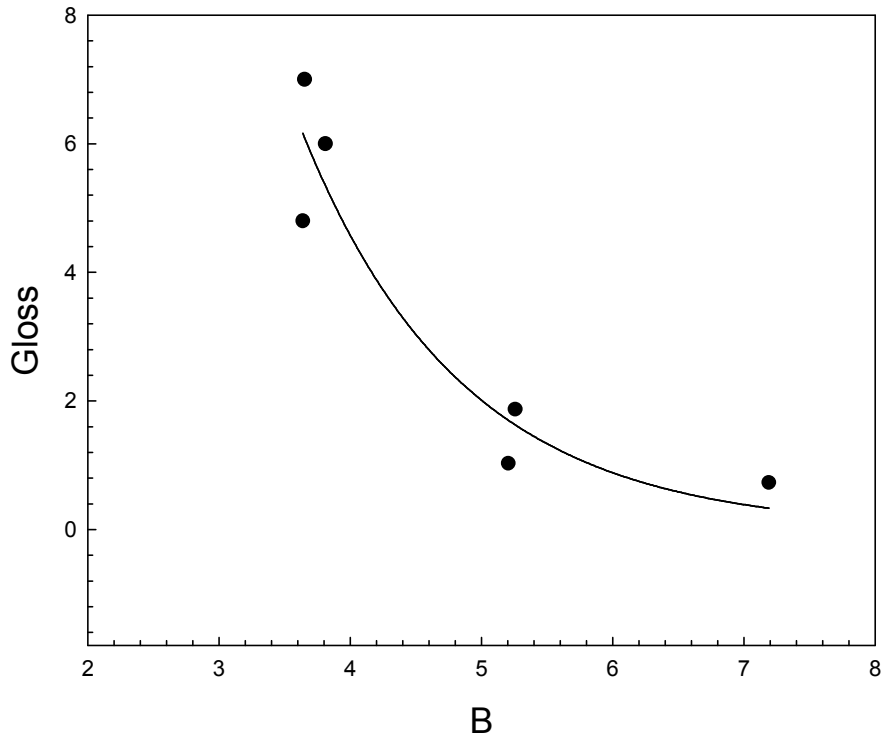


그림 3-1-21. 링조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(20도) 변화

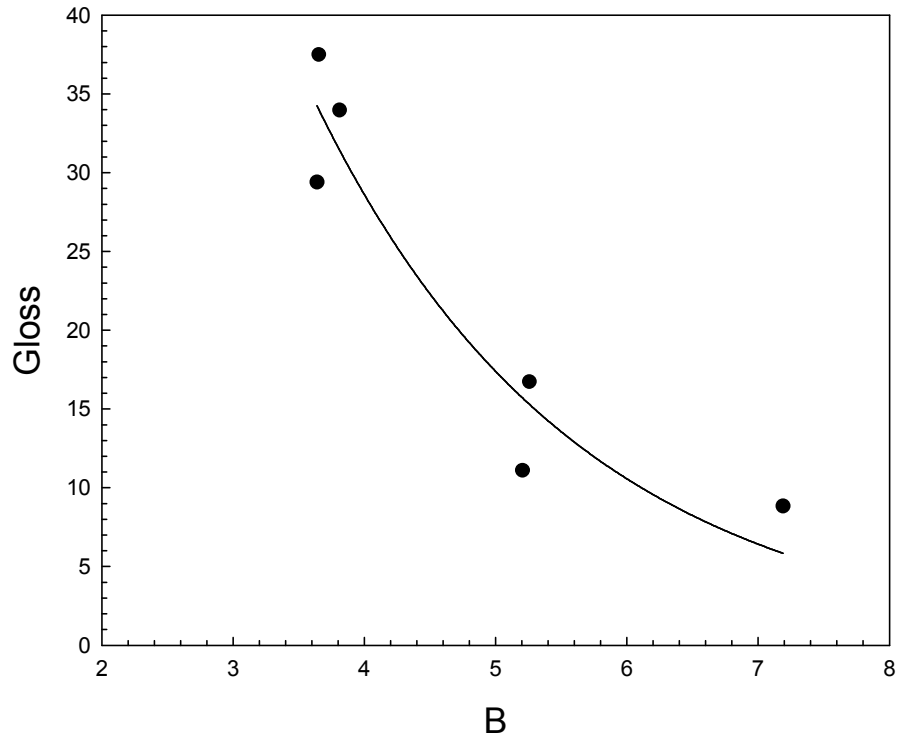


그림 3-1-22. 링조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(60도) 변화



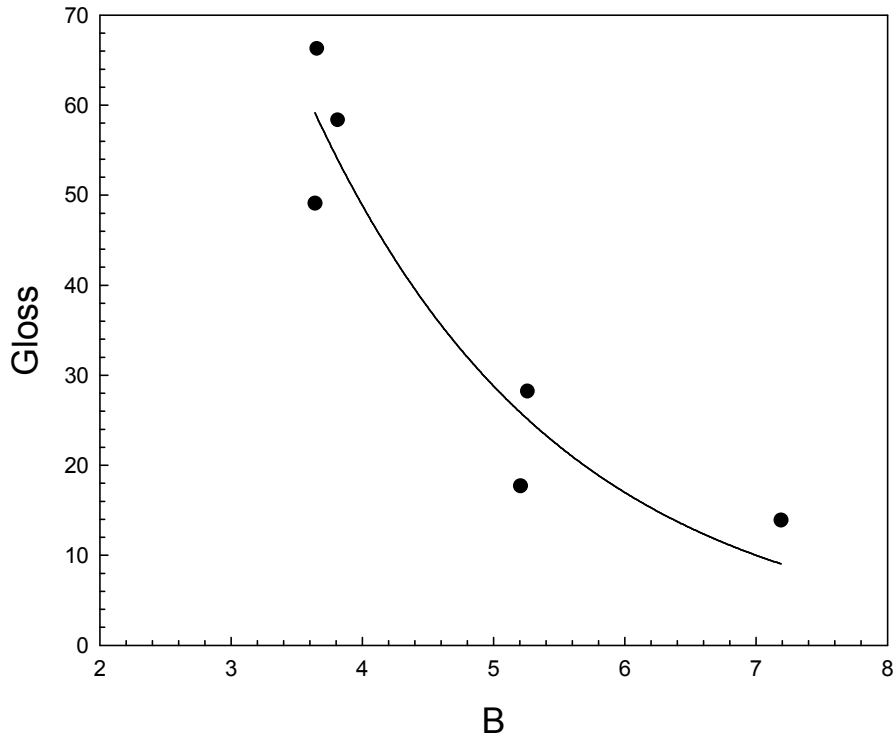


그림 3-1-23. 링조명하에서 영상처리시스템의 B값에 따른 광택(80도) 변화

## 2) NIR을 이용한 광택의 측정 모델

400~2500nm 파장영역에서 광택이 미치는 기여도를 분석하였으며, 그 결과는 그림 3-1-24와 같았다. 그림에서와 같이 근적외선 영역에서는 기여도가 낮게 나타났으며, 가시광선 영역 즉, 400~1000nm 영역에서 기여도가 높게 나타나 향후 종합품질측정시스템의 개발에서 중요한 설계인자로 고려되었다.

광택별 PLS 모델을 개발하였으며, 그 결과는 그림 3-1-25 및 3-1-26과 같았다. PLS법은 교정부의 모든 스펙트럼을 각각의 고유벡터와 스코어로 분해하여 스펙트럼과 기준치에 대한 분석을 연속적으로 수행하게 된다.

광택별 모델을 개발하기 위하여 교정부를 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 스펙트럼으로 분리하여 각각 교차검증(full cross validation)을 실시하였다. 그림에서와 같이 각각의 시료별 편차는 다소 나타났지만 광택과 스펙트럼 모델은 높은 상관관계를 보였다. 캘리브레이션에 사용한 시료의 결정계수는 0.984, 검증 결정계수는 0.939로 비교적 만족한 수준이었다.

따라서, 연구결과 광택은 가시광선 영역에서 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

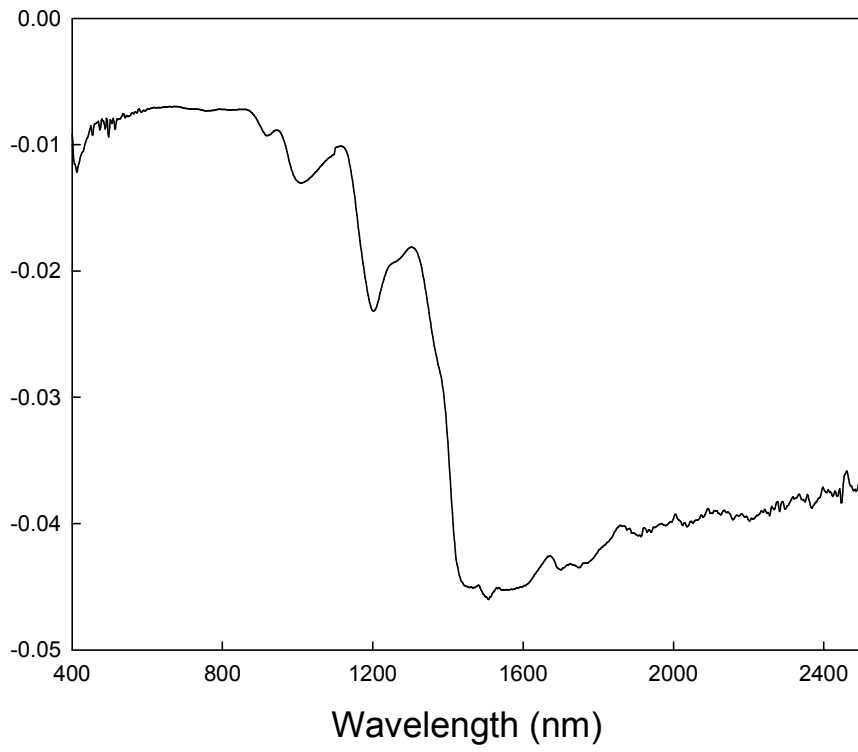


그림 3-1-24. 파장영역에 따른 기여도 분석

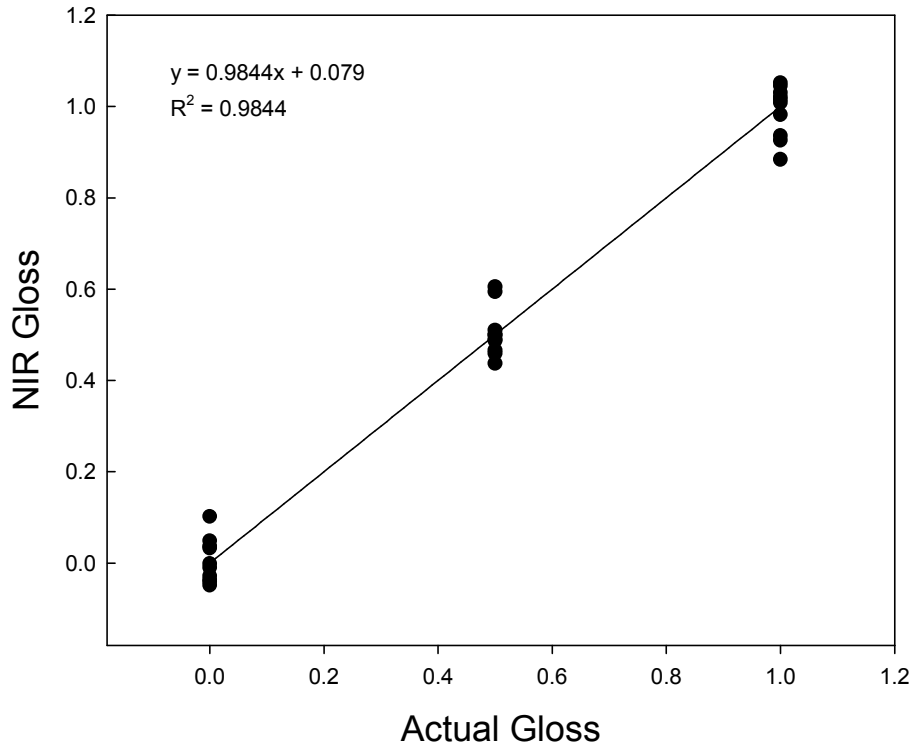


그림 3-1-25. 광택별 실측치 및 NIR 캘리브레이션 모델에 의한 예측치

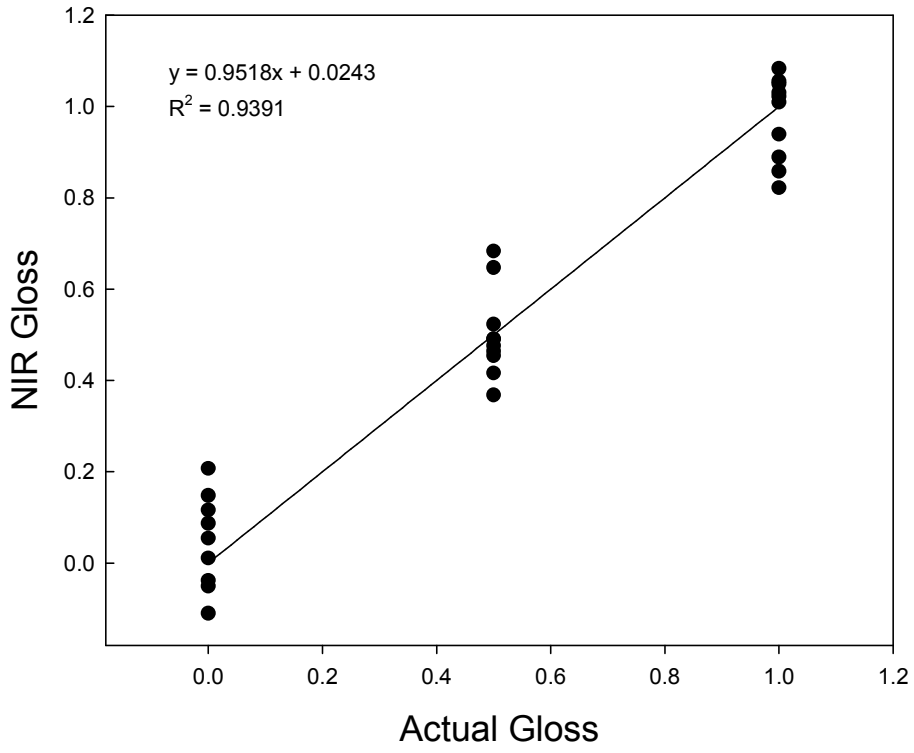


그림 3-1-26. 광택별 실측치 및 NIR 검증 모델에 의한 예측치

## 제 2 절 쌀의 외형인자 측정 기술 및 시스템 개발

### 1. 쌀의 외형인자

#### 가. 현미 및 백미의 외형품질인자의 특성

벼의 왕겨층을 제거하면 현미상태로 되며, 현미의 강층을 제거하면 전분층으로 이루어진 백미가 가공되게 된다. 왕겨는 큰껍질(외영, Palea)과 작은껍질(내영, Lemma)로 형성되어 있으며, 중량비는 왕겨가 16~20%, 강층(과피에서 호분층까지)이 4~7%, 배아가 1.5~2.5%이고, 전분층(배유)이 65~80% 수준이다.

일반적으로 현미는 배아가 위치하고 있는 부위를 ‘배’라 하고, 배의 반대 부위를 ‘등’이라 하며, 배아가 있는 주위를 기부(基部), 반대쪽을 머리부라 한다. 현미의 표면에는 기부에서 머리부까지 파여져 있는 가는 세로 홈을 ‘골’이라고 한다.

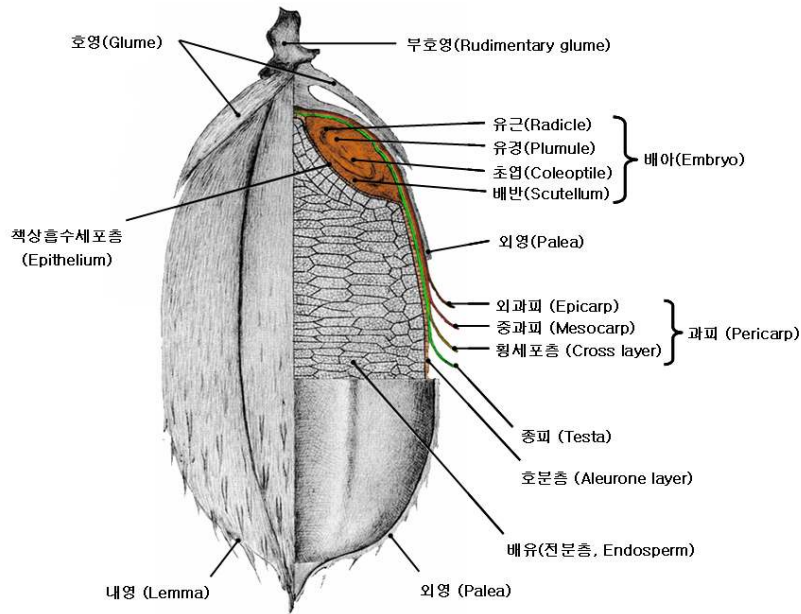


그림 3-2-1. 벼, 현미 및 백미의 구조

현미의 단면은 표면으로부터 과피, 종피 및 배유로 이루어져 있고, 종피와 배유에 걸쳐 외배유, 호분층 및 내배유(전분)로 이루어져 있으며, 여기서 과피, 종피, 외배유 및 호분층을 총칭하여 미강층(米糠層) 또는 강층이라고 한다. 과피는 여러 층으로 형성되어 있고, 층의 두께는 20~30 $\mu\text{m}$ 이고, 얇은 종피는 두께가 1 $\mu\text{m}$  정도로 완숙 후에는 과피층과 결합되어 분리하기 어려움이 있다. 과피와 종피의 주요 역할은 배아 및 배유를 적당한 수분상태로 조절하고, 병균 등의 침입을 방지하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 종피의 안쪽에 접해 있는 호분층은 여러 벌집형태의 세포막 안에 작은 알갱이 모양의 입자들이 밀집되어 있는 두께 25~45 $\mu\text{m}$  정도의 층으로 전분 축적이 적고, 단백질, 지방, 비타민, 무기성분 등이 많이 포함되어 있으나 세포막이 두껍고, 소화가 잘 안될 뿐만 아니라 밥의 끈기를 감소시켜 식미를 나쁘게 하므로 도정할 때 제거해야 한다. 배유는 우리가 주로 식용으로 이용하는 부분으로, 전분을 저장하는 기능을 갖고 있으며, 1~3 $\mu\text{m}$  정도인 단백질 과립을 저장하고 있으며, 저장물질 중에 주로 90~92%가 전분이고, 보통 6~9%가 단백질로 구성되어 있다. 배아(胚芽, germ)는 현미의 각 부분 중에 가장 우수한 영양가를 함유하고 있는 부분으로, 조지방 21.4%, 조단백질 21.3%, 조회분 8.0% 및 당질 39.1%로 구성되어 있으며, 특히 비타민B1이 어느 부위보다 높다. 현미와 외부와의 평형함수율 상태를 유지하는 기능이 있으나 배아가 많은 쌀은 외관품위가 나쁘며, 저장 중 쉽게 산패되는 것으로 알려져 있다.

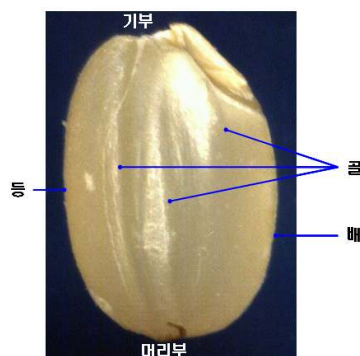


그림 3-2-2. 현미의 외부명칭

현미 및 백미의 외형품질인자는 농림부 및 국립농산물품질관리원에서 다음의 표 3-2-1 및 3-2-2와 같이 정의하고 있다(농산물품질관리법 19조, 농산물표준규격, 농산물검사기준(농림부고시 제2003-22호), 정부쌀 검사규격(2006)).

현미 및 백미는 각 단립별로 동일한 품질을 지니고 있더라도 형상이나 모양 등은 서로 다르기 때문에 이들이 구성하고 있는 비율에 따라서 품질에 큰 영향을 미치게 된다.

현미 및 백미의 외형인자는 생산현장, 검사기관 등 목적에 따라서 인자가 다소 다를 수도 있으며, 정의 또한 일정하지가 않다. 그러나, 농림부와 국립농산물품질관리원에서 제시하는 현미 및 백미의 외형인자는 농산물표준규격 및 검사규격으로서 현재 RPC에서 품질관리 및 포장재의 표시방법에도 사용되고 있다. 따라서, 표에서와 같은 외형품질인자를 기준으로 측정기술을 개발하였다.

표 3-2-1. 현미의 외형품질인자

| 정립 | 비정상립 |     |     |    |
|----|------|-----|-----|----|
| 정립 | 미숙립  | 피해립 | 열손립 | 사미 |

- 미숙립 : 사미를 제외한 성숙하지 않은 낱알
- 피해립 : 오염된 낱알, 발아립, 병해립, 충해립, 부패립, 기형립, 싸라기 등을 말함. 다만, 피해가 경미하여 현미의 품질에 영향을 미치지 아니할 정도의 것은 제외
- 열손립 : 열에 의하여 변색 또는 손상된 낱알을 말하며 미립표면적 1/4이상이 주황색(한국표준색표집 2.5Y8/4기준이상)으로 착색된 것을 말함. 다만, 착색된 정도가 주황색 기준이하이거나 1/4미만인 것은 피해립으로 적용
- 사미 : 충실하지 아니한 분상질립(청사미 및 백사미)



표 3-2-2. 백미의 외형품질인자

| 정상립 | 불량립  |     |     |     |
|-----|------|-----|-----|-----|
| 정상립 | 분상질립 | 피해립 | 열손립 | 싸라기 |

- 분상질립 : 체적의 1/2이상이 분상질 상태인 낱알
- 피해립 : 오염된립, 병해립, 충해립, 발아립, 생리장해립, 적조 및 흑조가 낱알길이의 1/4이상 부착된 립. 다만, 피해가 경미하여 쌀의 품질에 영향을 미치지 아니할 정도의 것은 제외
- 열손립 : 열에 의하여 변색 또는 손상된 낱알을 말하며 미립표면적 1/4이상이 주황색(한국표준색표집 2.5Y8/4기준이상)으로 착색된 것을 말함. 다만, 착색된 정도가 주황색 기준이하이거나 1/4미만인 것은 피해립으로 적용
- 싸라기 : KS A 5101 표준체 중 호칭치수 1.7mm 그물체로 쳐서 체 위에 남은 것 중 완전한 낱알 평균길이의 3/4미만의 깨진 낱알
- 이종곡립 : 쌀 외의 다른 곡립을 말함
- 기타이물 : 쌀이외의 것과 1.7mm 그물체로 쳐서 통과되는 것을 말함

현미 및 백미의 외형품질인자는 현미를 외부로부터 관찰하는 품질인자로서 현미의 정립과 비정상립이 포함된 현미를 도정하여 백미를 가공할 경우 현미의 정립과 비정상립의 종류에 따라 백미의 외형품질인자에도 큰 영향을 미치게 된다(표 3-2-3). 현미 중 미숙립은 도정과정에서 대부분 분상질립이 되거나 일부는 싸라기로 가공되며, 피해립과 열손립은 도정과정에서 대부분 피해립 또는 열손립으로 가공되며, 피해립 중 동할립과 같은 일부는 싸라기로 가공되기도 한다. 현미 중 사미는 도정과정에서 싸라기의 크기보다도 작은 이물로 가공되어 미강과 함께 배출되거나 일부는 백미에 포함되기도 한다.

표 3-2-3. 현미의 도정과정에서 가공되는 백미와의 관계

| 현 미 \ 백 미 | 정상립 | 분상질립 | 피해립 | 열손립 | 싸라기 | 이 물 |
|-----------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 정립        | ◎   |      |     |     |     |     |
| 미숙립       |     | ◎    |     |     | ○   |     |
| 피해립       |     |      | ◎   |     | ○   |     |
| 열손립       |     |      |     | ◎   |     |     |
| 사미        |     |      |     |     |     | ◎   |

◎ : 관계가 매우 큼 ○ : 관계가 다소 있음

## 나. 현미의 외형인자 정의

현미의 외형은 성숙(成熟)의 정도에 따라서 크게 다음과 같이 정립, 미숙립, 사미로 구분할 수 있으며, 피해립 및 열손립은 성숙의 정도와는 별개로 등숙 중이나 후에 손상을 받은 미립으로 구분할 수 있다.

- ① 정립 : 외형이 충실한 미립
- ② 미숙립 : 외형의 충실함이 불충한 미립
- ③ 사미 : 외형이 충실하지 않은 미립

### 1) 정립(整粒)

정립은 미숙립, 피해립, 열손립, 사미 등을 제외한 모양, 색깔 등이 정상 상태를 유지하는 입자로서, 피해립, 열손립으로서 손상이 있더라도 경미할 경우 정립으로 취급한다.

### 2) 미숙립(未熟粒)

성숙하지 않은 미립로서 배유부의 일부 또는 전체에 전분의 충실이 충

분하지 않아 백색의 불투명한 부분이 남아있는 입자로서 사미는 제외된다. 미숙립에는 유백립, 심백립, 기부미숙립, 복백미숙립, 청미숙립 등으로 세분화 할 수 있다.

유백립(乳白粒)은 배유부가 백색 불투명하며, 사미와는 달리 표면에 광택이 있다. 강도가 낮아 도정과정에서 쉽게 찌라기로 변하게 되고, 분상질립으로 가공되기 쉬우며, 품질에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 냉해나 등숙이 불량할 경우 발생한다. 심백립(心白粒)은 배유부 중심에 백색 불투명한 부분이 있는 미립이며, 기부미숙립(基部未熟粒)은 기부부위에 백색 불투명한 부분이 있는 미립이다. 기부미숙립은 주로 조기수확에서 많이 발생한다. 복백미숙립(腹白未熟粒)은 배부분에 백색 불투명한 부분이 있는 미립이다. 청미숙립은 녹색계열을 띠고 있으며, 형상도 정립과 뚜렷하게 구분되고 있다.

국내에서는 미숙립은 사미를 제외한 성숙하지 않은 미립으로 정의하고 있으나, 일본은 유백립 및 심백립은 백색 불투명한 부분이 평면의 1/2이상이어야 하고, 기부미숙립은 입자 길이의 1/5이상, 복백미숙립은 입자 길이의 2/3 이상이고 입자 폭의 1/3이상으로 정의하고 있다.

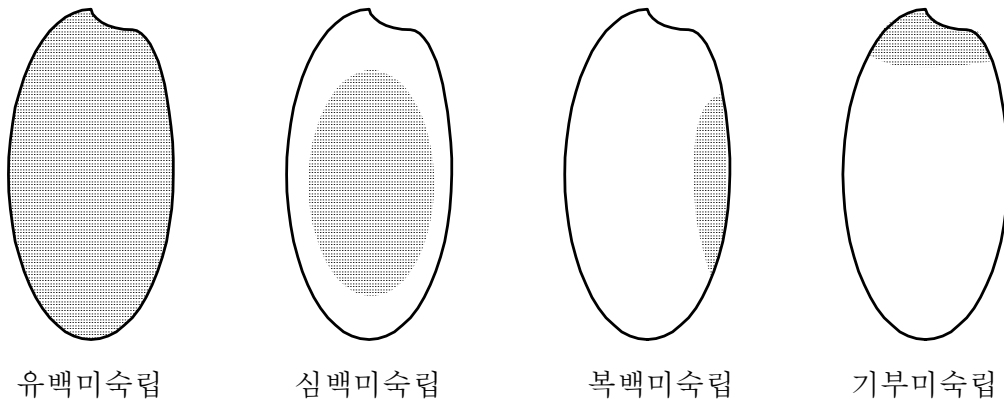


그림 3-2-3. 현미 미숙립의 종류



정립      유백립      심백립      기부미숙립      복백미숙립      청미숙립

그림 3-2-4. 현미 정립 및 미숙립의 영상

## 2) 피해립(被害粒)

피해립은 등숙 과정이나 등숙 후에 해충, 열, 세균 등의 장애로 인하여 손상을 받은 미립으로 정의할 수 있다. 피해립에는 오염된 낱알, 발아립, 병해립, 충해립, 부패립, 기형립, 사미, 싸라기 및 동할립 등으로 세분화 할 수 있다.

기형립(奇形粒은) 장애 등에 의해 부정형으로 된 미립으로 동절미(胴切립米), 뒤틀어진 미 등으로 구분된다. 동절미는 미립의 일부에 홈형태로 패인곳이 있는 미립으로 주로 개화후 저온장애로 발생하는 것으로 알려져 있으며, 도정과정에서 홈부위는 도정되지 않고 남아 있거나, 싸라기로 가공되는 경우가 많아 품질을 저하시키게 된다. 뒤틀어진 미는 주로 미립의 두께가 정립에 비해 작도, 뒤틀려져 있는 미립으로서 저온 또는 풍수장애가 원인으로 알려져 있다.



기형립      비틀어진 립

그림 3-2-5. 현미 피해립의 영상

동할립(胴割粒)은 미립에 균열이 있는 현미로서 입모 중 또는 건조 중에 급격한 건조나 흡습으로 인하여 발생한다. 특히 건조과정에서 고온으로 급속하게 건조할 경우 많이 발생한다. 즉, 건조가 진행되면서 벼 낱알의 표면은 빨리 건조되고 내부로 갈수록 건조가 느리게 되며, 이때 낱알의 표면과 내부 사이는 함수율의 차이가 발생하는데 함수율의 차이가 클수록 응력에 의해 동할이 발생하게 된다. 함수율의 차이는 건조속도가 빠를수록 크게 나타나며 건조속도는 열풍온도가 좌우한다. 따라서 열풍온도가 높을수록 건조속도가 빠르고 벼 낱알의 표면과 내부 사이의 함수율 차는 커지고 동할 발생도 증가하게 된다. 동할립은 도정과정에서 싸라기로 가공되기 쉬워 도정수율에 큰 영향을 미치며, 싸라기가 되지 않더라도 취반과정에서 전분이 쉽게 유출되어 밥의 외형유지가 어렵고, 윤기가 저하되는 등 식미에도 큰 영향이 있는 품질인자이다.



그림 3-2-6. 동할립의 영상

### 3) 열손립(熱損粒)

열손립은 열에 의하여 변색 또는 손상된 낱알로서 손상된 부위가 미립 표면적의 1/4이상이 되어야 하며, 그 미만인 것은 피해립으로 간주한다. 손상된 부위의 칼라 정보는 2.5Y8/4(한국표준색표집) 기준 이상을 말한다.

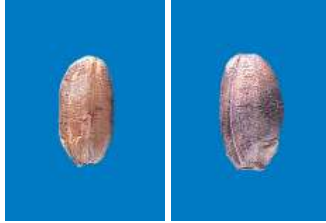


그림 3-2-7. 현미 열손립의 영상

#### 4) 사미(死米)

사미는 개화 직후에 생육이 정지된 상태로서 미립의 대부분이 분상질이  
며, 광택이 전혀 없다. 길이와 폭은 일정 크기를 유지하고 있으나 두께가  
매우 얇다. 사미는 도정과정에서 쉽게 부서져 대부분 이물로 미강과 함께  
배출되거나 일부는 싸라기로 가공되기도 한다. 특히, 백미에 포함될 경우  
흰색을 띠고 있어 외관품질에 큰 영향을 가져온다.



백사미      청사미

그림 3-2-8. 사미의 영상

## 다. 백미의 외형인자 정의

백미는 미립의 형태에 따라서 크게 정상립, 분상질립 및 싸라기로 구분할 수 있으며, 정상립은 완전립에 가까운 형태를 가지고 있고, 미립 전체가 투명하고 충실하다. 분상질립은 미립의 전체 또는 일부에 불투명한 분상이 있는 미립이며, 싸라기는 정상립에 비해 크기가 작은 미립이다. 피해립 및 열손립은 해충 및 세균 등에 의해 미립의 전체 또는 일부에 손상을 입은 미립이다. 싸라기, 피해립 및 열손립 등은 정상립 및 분상질립과는 달리 취반과정에서 전분이 쉽게 용출되어 밥의 점성이 높아져 식미 저하의 주요한 원인이 되며, 밥의 경도가 저하되고 점착성과 부착성이 증가되며, 취반 가수량이 증가하는 등 큰 영향을 가져오는 외형품질인자이다.

### 1) 정상립(正常粒)

형상이 완전립에 가까우며, 투명하고 충실한 미립으로서 분상질립, 피해립, 열손립 및 싸라기 등을 제외한 미립이다.

### 2) 분상질립(粉狀質粒)

분상 또는 반분상 상태의 미립으로서 전체가 분상이거나 평면의 1/2이상이 분상인 미립이다. 분상질립에는 복백립과 심백립이 포함되어 있다. 복백립은 배 부위에 분상부위가 입자길이의 1/3이상이어야 한다. 심백립은 미립 중앙부위의 분상부위가 평면의 1/2이상이어야 한다.



분상질립      복백립      심백립

그림 3-2-9. 백미 분상질립의 영상

### 3) 피해립

미립의 전체 또는 일부에 손상을 입은 미립으로서 피해립과 분상질립이 공존하는 미립의 경우 분상질립으로 취급하지 않고 피해립으로 취급한다. 또한, 피해립이면서 싸라기일 경우 싸라기로 취급하지 않고 피해립으로 취급한다.



손상에 의한  
피해립

기형 피해립

그림 3-2-10. 백미 피해립의 영상

### 4) 열손립

열손립은 열에 의하여 변색 또는 손상된 낱알로서 손상된 부위가 미립 표면적의 1/4이상이 되어야 하며, 그 미만인 것은 피해립으로 간주한다. 손상된 부위의 칼라 정보는 2.5Y8/4(한국표준색표집) 기준 이상을 말한다.



그림 3-2-11. 백미 열손립의 영상



## 5) 싸라기

1.7mm 체 위에 남아있는 미립중에 완전립의 입자 길이의 3/4 미만의 미립으로서 분상질립이 있는 싸라기의 경우 분상질립으로 취급하지 않고, 싸라기로 취급한다.

## 2. 기하학적 특성

### 가. 공시재료

실험에 사용한 시료는 2006년산 남평, 일미 및 추청 등 3품종으로서 경기 화성, 충남 당진 등에서 수확한 벼로서 산지 RPC 3개소를 직접 방문하여 현미 및 백미를 수집하였다.

현미의 경우 RPC에 설치되어 있는 입선별기와 석발기 또는 현미 색채선별기를 통과하는 정립을 수집하였으며, 비정상립은 입선별기 및 현미 색채선별기에서 선별되는 사미, 미숙립, 피해립 및 열손립 등을 수집하였다. 백미의 경우 최종 생산되는 백미의 백도를  $40\pm 1$ 이 되도록 정미기 및 연미기를 조정 후 색채선별기를 통과하는 정상립과 로터리쉬프트 및 백미 색채선별기에서 선별되는 불량립을 각각 수집하였다.

수집된 현미 정립과 비정상립(미숙립, 피해립, 열손립, 사미), 백미 정상립과 불량립(분상질립, 피해립, 열손립, 싸라기)을 수작업으로 외형인자 별로 선별한 후 밀봉하였다. 밀봉한 각각의 시료는  $-2^{\circ}\text{C}$ 의 저온저장고에 보관하면서 실험일정에 따라 외기에 충분히 방치하여 외기온도와 평형을 이루도록 한 후 사용하였다.

### 나. 실험방법

3품종의 시료의 외형인자별로 기하학적 특성 및 중량을 측정하였다. 외형인자별로 150~300립을 영상시스템(Micro Hi-scope system, Hirox Co., Japan)과 영상프로그램(Image-Pro 1.3, Media Cybernetics, USA)을

이용하여 면적, 장축, 단축, 장단축비 및 원형을 등을 측정하였다. 측정된 기하학적 특성치는 SAS의 분산분석(Analysis of variance, ANOVA) 프로그램을 이용하여  $p=0.05$ ,  $0.01$ ,  $0.001$ 에서의 유의수준을 분석하였다.

현미 정립 및 비정상립, 백미의 정상립 및 불량립의 각각의 중량과의 관계를 구명하기 위하여 외형인자별로 50립씩 각각의 중량을 전자저울(ED153, Satorius, Germany)로 측정하였으며, 이를 통해 현미 정립과 백미 정상립에 대하여 현미 비정상립과 백미 불량립에 대한 각각의 중량환산지수를 작성하였다.

## 다. 실험결과

### 1) 기하학적 특성

남평, 일미 및 추청 현미 정립과 비정상립의 종류별 기하학적 특성은 다음의 표 3-2-4~3-2-6과 같다. 표에서와 같이 정립은 면적 또는 둘레에서 유의적인 차이가 나타났고, 미숙립, 백사미 및 열손립의 기하학적 특성은 유의적인 차이가 없었으나, 정립과 피해립과는 유의적인 차이가 나타났다. 따라서, 현미의 경우 정립, 피해립, 사미류 등은 기하학적 특성만으로도 선별의 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

남평, 일미 및 추청 백미의 기하학적 특성은 표 3-2-7~3-2-9와 같다. 백미 정상립은 면적, 장단축 및 둘레에서 유의적인 차이가 나타났고, 열손립과 피해립은 유의적인 차이가 없었으며, 싸라기는 유의적인 차이가 나타났다. 백미의 경우도 현미와 마찬가지로 기하학적 특성으로도 선별의 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

따라서, 현미 및 백미의 외형인자 별 기하학적 특성을 기준으로 선별한다면 일부 인자에 대해서는 선별 가능성이 있는 것으로 나타났고, 광학특성 등을 종합적으로 이용한다면 전체적인 인자에 대한 선별이 가능할 것으로 판단되었다.

표 3-2-4. 남평 현미의 기하학적 특성

|              | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***       | 원형율 ***             | 장축(mm)<br>***     | 단축(mm)<br>***      | 둘레(mm)<br>***       |
|--------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 정립           | 11.90 <sup>a</sup>          | 1.69 <sup>e</sup> | 1.17 <sup>e</sup>   | 4.93 <sup>a</sup> | 2.93 <sup>a</sup>  | 12.87 <sup>a</sup>  |
| 미숙립          | 10.45 <sup>b</sup>          | 1.79 <sup>d</sup> | 1.21 <sup>de</sup>  | 4.73 <sup>b</sup> | 2.68 <sup>bc</sup> | 12.19 <sup>b</sup>  |
| 백사미          | 10.49 <sup>b</sup>          | 1.80 <sup>d</sup> | 1.21 <sup>de</sup>  | 4.77 <sup>b</sup> | 2.68 <sup>bc</sup> | 12.22 <sup>b</sup>  |
| 청사미          | 9.55 <sup>de</sup>          | 1.85 <sup>c</sup> | 1.23 <sup>cde</sup> | 4.60 <sup>c</sup> | 2.53 <sup>e</sup>  | 11.74 <sup>e</sup>  |
| 열손립          | 10.16 <sup>c</sup>          | 1.86 <sup>c</sup> | 1.24 <sup>cd</sup>  | 4.77 <sup>b</sup> | 2.61 <sup>d</sup>  | 12.11 <sup>bc</sup> |
| 피해립          | 9.78 <sup>d</sup>           | 1.87 <sup>c</sup> | 1.37 <sup>b</sup>   | 4.73 <sup>b</sup> | 2.63 <sup>cd</sup> | 11.96 <sup>cd</sup> |
| 피해립<br>(기형)  | 9.40 <sup>e</sup>           | 1.96 <sup>b</sup> | 1.27 <sup>c</sup>   | 4.71 <sup>b</sup> | 2.49 <sup>f</sup>  | 11.81 <sup>de</sup> |
| 피해립<br>(적조)  | 9.08 <sup>f</sup>           | 2.19 <sup>a</sup> | 1.66 <sup>a</sup>   | 4.94 <sup>a</sup> | 2.39 <sup>g</sup>  | 11.96 <sup>cd</sup> |
| 피해립<br>(싸라기) | 6.66 <sup>g</sup>           | 1.22 <sup>f</sup> | 1.17 <sup>e</sup>   | 3.28 <sup>d</sup> | 2.71 <sup>b</sup>  | 9.28 <sup>f</sup>   |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-5. 일미 현미의 기하학적 특성

|              | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***        | 원형율 ***            | 장축(mm)***          | 단축(mm)<br>***     | 둘레(mm)<br>***      |
|--------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 정립           | 12.00 <sup>a</sup>          | 1.74 <sup>f</sup>  | 1.19 <sup>cd</sup> | 5.00 <sup>a</sup>  | 2.90 <sup>a</sup> | 12.99 <sup>a</sup> |
| 미숙립          | 10.97 <sup>b</sup>          | 1.75 <sup>ef</sup> | 1.19 <sup>cd</sup> | 4.81 <sup>b</sup>  | 2.77 <sup>b</sup> | 12.43 <sup>b</sup> |
| 백사미          | 9.58 <sup>d</sup>           | 1.90 <sup>bc</sup> | 1.24 <sup>b</sup>  | 4.71 <sup>c</sup>  | 2.49 <sup>d</sup> | 11.82 <sup>d</sup> |
| 청사미          | 9.51 <sup>d</sup>           | 1.84 <sup>d</sup>  | 1.22 <sup>bc</sup> | 4.58 <sup>d</sup>  | 2.52 <sup>d</sup> | 11.69 <sup>d</sup> |
| 열손립          | 10.22 <sup>c</sup>          | 1.86 <sup>cd</sup> | 1.25 <sup>b</sup>  | 4.77 <sup>bc</sup> | 2.62 <sup>c</sup> | 12.15 <sup>c</sup> |
| 피해립          | 10.80 <sup>b</sup>          | 1.79 <sup>e</sup>  | 1.27 <sup>b</sup>  | 4.83 <sup>b</sup>  | 2.77 <sup>b</sup> | 12.42 <sup>b</sup> |
| 피해립<br>(기형)  | 9.41 <sup>d</sup>           | 1.93 <sup>b</sup>  | 1.26 <sup>b</sup>  | 4.68 <sup>c</sup>  | 2.51 <sup>d</sup> | 11.78 <sup>d</sup> |
| 피해립<br>(적조)  | 8.96 <sup>e</sup>           | 2.00 <sup>a</sup>  | 1.57 <sup>a</sup>  | 4.72 <sup>bc</sup> | 2.51 <sup>d</sup> | 11.60 <sup>d</sup> |
| 피해립<br>(싸라기) | 6.46 <sup>f</sup>           | 1.19 <sup>g</sup>  | 1.16 <sup>d</sup>  | 3.18 <sup>e</sup>  | 2.71 <sup>b</sup> | 9.11 <sup>e</sup>  |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-6. 추청 현미의 기하학적 특성

|              | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***        | 원형율 ***           | 장축(mm)***          | 단축(mm)<br>***     | 둘레(mm)<br>***      |
|--------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 정립           | 12.02 <sup>a</sup>          | 1.75 <sup>e</sup>  | 1.18 <sup>c</sup> | 5.00 <sup>a</sup>  | 2.91 <sup>a</sup> | 12.98 <sup>a</sup> |
| 미숙립          | 10.03 <sup>b</sup>          | 1.82 <sup>cd</sup> | 1.29 <sup>c</sup> | 4.66 <sup>c</sup>  | 2.61 <sup>c</sup> | 11.89 <sup>d</sup> |
| 백사미          | 10.03 <sup>c</sup>          | 1.94 <sup>b</sup>  | 1.27 <sup>c</sup> | 4.84 <sup>b</sup>  | 2.56 <sup>d</sup> | 12.15 <sup>c</sup> |
| 청사미          | 9.07 <sup>d</sup>           | 1.86 <sup>c</sup>  | 1.25 <sup>c</sup> | 4.52 <sup>d</sup>  | 2.46 <sup>e</sup> | 11.44 <sup>e</sup> |
| 열손립          | 9.83 <sup>c</sup>           | 1.78 <sup>de</sup> | 1.41 <sup>b</sup> | 4.67 <sup>c</sup>  | 2.68 <sup>c</sup> | 11.81 <sup>d</sup> |
| 피해립          | 10.84 <sup>b</sup>          | 1.78 <sup>de</sup> | 1.29 <sup>c</sup> | 4.85 <sup>b</sup>  | 2.78 <sup>b</sup> | 12.42 <sup>b</sup> |
| 피해립<br>(기형)  | 9.63 <sup>c</sup>           | 1.86 <sup>c</sup>  | 1.27 <sup>c</sup> | 4.62 <sup>cd</sup> | 2.58 <sup>d</sup> | 11.80 <sup>d</sup> |
| 피해립<br>(적조)  | 7.38 <sup>e</sup>           | 2.26 <sup>a</sup>  | 2.01 <sup>a</sup> | 4.59 <sup>cd</sup> | 2.20 <sup>f</sup> | 10.88 <sup>f</sup> |
| 피해립<br>(싸라기) | 6.65 <sup>f</sup>           | 1.23 <sup>f</sup>  | 1.19 <sup>c</sup> | 3.28 <sup>e</sup>  | 2.71 <sup>c</sup> | 9.27 <sup>g</sup>  |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-7. 남평 백미의 기하학적 특성

|     | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***       | 원형율 ***           | 장축(mm)***         | 단축(mm)<br>***     | 둘레(mm)<br>***      |
|-----|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 정상립 | 10.65 <sup>a</sup>          | 1.63 <sup>c</sup> | 1.18 <sup>c</sup> | 4.72 <sup>a</sup> | 2.90 <sup>a</sup> | 12.12 <sup>a</sup> |
| 열손립 | 5.95 <sup>c</sup>           | 1.23 <sup>d</sup> | 1.16 <sup>c</sup> | 3.07 <sup>c</sup> | 2.53 <sup>c</sup> | 8.75 <sup>c</sup>  |
| 피해립 | 8.93 <sup>b</sup>           | 1.78 <sup>a</sup> | 1.33 <sup>a</sup> | 4.55 <sup>b</sup> | 2.62 <sup>b</sup> | 11.31 <sup>b</sup> |
| 싸라기 | 9.05 <sup>b</sup>           | 1.73 <sup>b</sup> | 1.27 <sup>b</sup> | 4.50 <sup>b</sup> | 2.64 <sup>b</sup> | 11.29 <sup>b</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임  
 \*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-8. 일미 백미의 기하학적 특성

|     | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***       | 원형율 ***           | 장축(mm)***         | 단축(mm)<br>***     | 둘레(mm)<br>***      |
|-----|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 정상립 | 10.79 <sup>a</sup>          | 1.73 <sup>a</sup> | 1.21 <sup>b</sup> | 4.89 <sup>a</sup> | 2.83 <sup>a</sup> | 12.33 <sup>a</sup> |
| 열손립 | 6.09 <sup>d</sup>           | 1.22 <sup>b</sup> | 1.16 <sup>c</sup> | 3.10 <sup>d</sup> | 2.59 <sup>c</sup> | 8.87 <sup>d</sup>  |
| 피해립 | 9.20 <sup>b</sup>           | 1.75 <sup>a</sup> | 1.32 <sup>a</sup> | 4.56 <sup>b</sup> | 2.69 <sup>b</sup> | 11.43 <sup>b</sup> |
| 싸라기 | 8.89 <sup>c</sup>           | 1.73 <sup>a</sup> | 1.30 <sup>a</sup> | 4.47 <sup>c</sup> | 2.63 <sup>c</sup> | 11.20 <sup>c</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임  
 \*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-9. 추청 백미의 기하학적 특성

|     | 면적(mm <sup>2</sup> )<br>*** | 장단축비<br>***       | 원형율 ***           | 장축(mm)***         | 단축(mm)<br>***     | 둘레(mm)<br>***      |
|-----|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 정상립 | 10.82 <sup>a</sup>          | 1.65 <sup>b</sup> | 1.18 <sup>b</sup> | 4.77 <sup>a</sup> | 2.90 <sup>a</sup> | 12.23 <sup>a</sup> |
| 열손립 | 6.21 <sup>d</sup>           | 1.24 <sup>c</sup> | 1.16 <sup>b</sup> | 3.15 <sup>c</sup> | 2.58 <sup>c</sup> | 8.95 <sup>c</sup>  |
| 피해립 | 10.06 <sup>c</sup>          | 1.70 <sup>a</sup> | 1.32 <sup>a</sup> | 4.66 <sup>b</sup> | 2.80 <sup>b</sup> | 11.84 <sup>b</sup> |
| 짜라기 | 10.43 <sup>b</sup>          | 1.64 <sup>b</sup> | 1.19 <sup>b</sup> | 4.69 <sup>b</sup> | 2.87 <sup>a</sup> | 12.00 <sup>b</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

## 2) 중량특성

일반적으로 검사요원이나 관리자 등이 쌀의 외형인자를 판별할 때는 일정량의 시료를 대하여 외형인자 별로 분류한 후 초기중량에 대하여 각각의 외형인자 별 중량을 측정하여 100%를 기준으로 환산하게 된다. 그러나, 기계적인 방법으로 측정할 때는 별도의 중량측정 장치를 부착하여야 한다. 벼의 제현율을 측정할 때는 통상 Load cell과 같은 중량측정 장치를 이용하고 있다.

중량측정 장치를 기계적인 품질검사방법에 부착할 경우 시료의 양이 일반적으로 적기 때문에 장치의 정밀도 향상에 많은 비용이 소요되며, 기구적으로도 불가능한 것은 아니지만 장치가 매우 복잡한 구조로 설계될 수 있다. 따라서, 쌀의 외형인자별로 중량에 대한 환산지수를 많이 이용하고 있다.

남평, 일미 및 추청 등 국내에서 가장 많이 재배되는 3품종의 현미 및 백미의 외형인자 별 중량특성을 이용하여 현미 정립 및 백미 정상립을 기준으로 중량환산지수를 구하였다. 다음의 그림 3-2-12~3-2-13은 중량환산지수를 토대로 측정한 중량을 이용하여 환산지수로 변화하여 나타낸 것이다.

중량지수는 외형인자별 단립수에 대한 중량환산 수치로서 실제 측정시에는 중량지수를 기본으로 하되 기하학적 특성에서 측정되는 수치를 감안하며 수정된 중량지수의 적용도 가능하다.



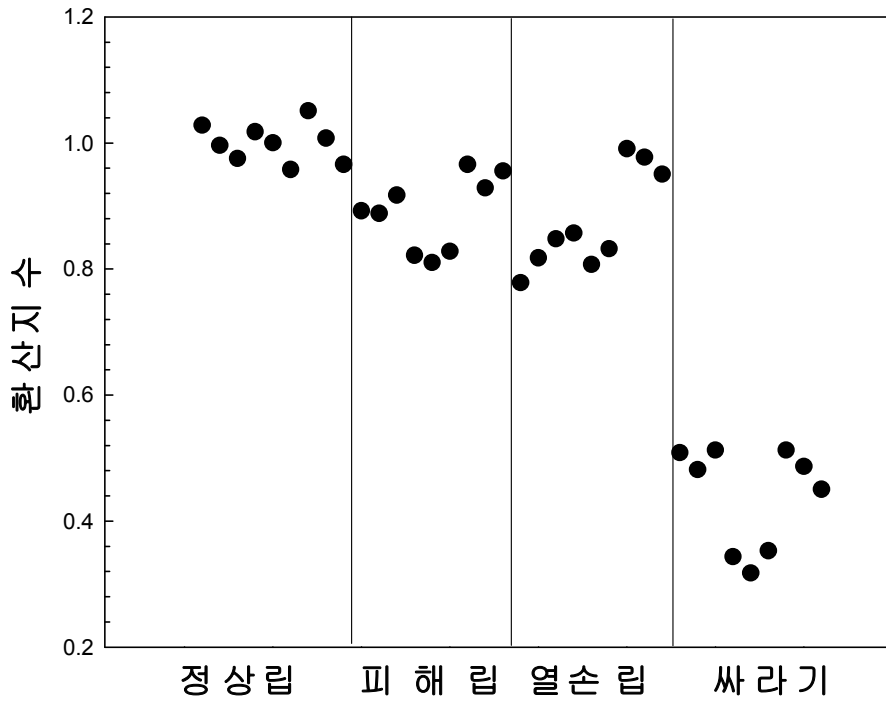
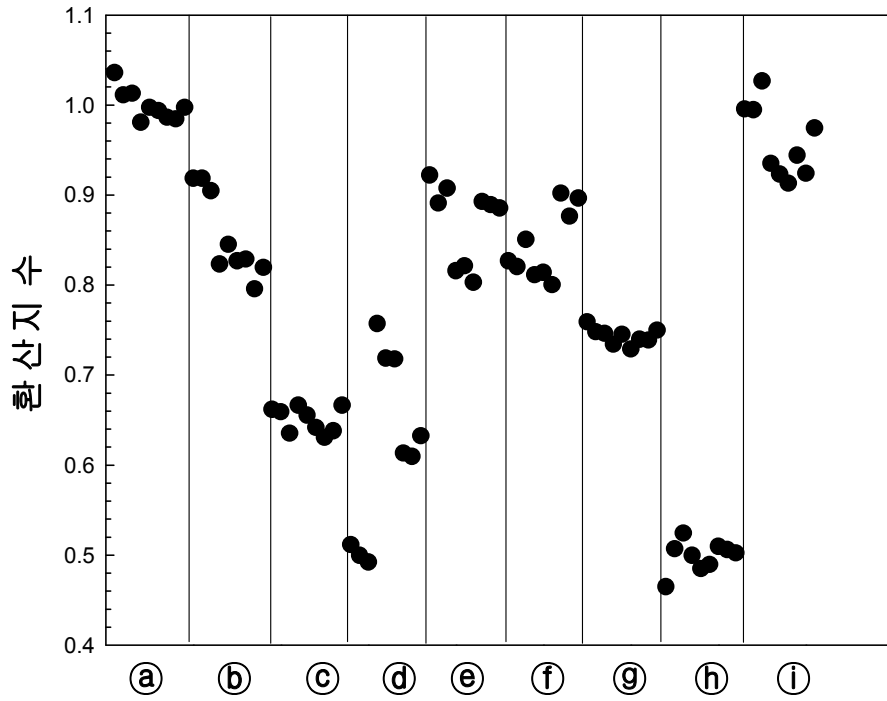


그림 3-2-12. 백미의 정상립 및 불량립의 중량환산지수 분포



㉠정립 ㉡미숙립 ㉢청사미 ㉣백사미 ㉤피해립

㉦열손립 ㉧기형립 ㉨싸라기 ㉩적미

그림 3-2-13. 현미의 정상립 및 불량립의 중량환산지수 분포

### 3. 칼라특성

#### 가. 공시재료

실험에 사용한 시료는 2006년산 남평, 일미 및 추청 등 3품종으로서 경기 화성, 충남 당진 등에서 수확한 벼로서 산지 RPC 3개소를 직접 방문하여 현미 및 백미를 수집하였다.

현미의 경우 RPC에 설치되어 있는 입선별기와 석발기 또는 현미 색채선별기를 통과하는 정립을 수집하였으며, 비정상립은 입선별기 및 현미 색채선별기에서 선별되는 사미, 미숙립, 피해립 및 열손립 등을 수집하였다.

백미의 경우 최종 생산되는 백미의 백도를  $40\pm 1$ 이 되도록 정미기 및 연미기를 조정 후 색채선별기를 통과하는 정상립과 로터리쉬프트 및 백미 색채선별기에서 선별되는 불량립을 각각 수집하였다.

수집된 현미 정립과 비정상립(미숙립, 피해립, 열손립, 사미), 백미 정상립과 불량립(분상질립, 피해립, 열손립, 싸라기)을 수작업으로 외형인자 별로 선별한 후 밀봉하였다. 밀봉한 각각의 시료는  $-2^{\circ}\text{C}$ 의 저온저장고에 보관하면서 실험일정에 따라 외기에 충분히 방치하여 외기온도와 평형을 이루도록 한 후 사용하였다.

#### 나. 실험방법

3품종의 시료의 칼라특성은 백도 및 Lab 칼라(그림 3-2-14)를 기준으로 측정하였다. 백도는 백도계(CR 300-3, Kett, Japan)로 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였고, Lab값은 시료를 원통형 용기( $41\times 12.5\text{mm}$ )에 담아 흑색패드에서 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였으며, tube는 light-projection tube (CRA33)을 사용하였다. Lab값은 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였다.

백도 및 Lab에 대하여 품종 및 외형인자 별 차이를 분석하기 위하여 SAS의 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)프로그램을 이용하였다.

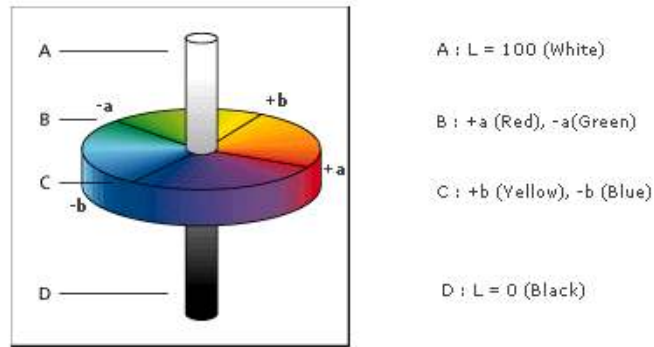


그림 3-2-14. Lab 칼라 시스템

#### 다. 실험결과

남평, 일미 및 추청의 현미 칼라특성은 표 3-2-10 및 3-2-11과 같다. 청사미, 열손립, 피해립, 피해립(적조) 등의 칼라인자들은 유의적인 차이가 뚜렷하였으며, 백미의 경우도 유사한 경향으로 나타났다. 특히 백미 백도의 경우 열손립과 피해립은 유의적인 차이가 크게 나타났다.

따라서, 현미 및 백미의 외형인자 별 기하학적 특성과 칼라특성을 분석한 결과 이들 특성을 기준으로 선별한다면 일부 인자에 대해서는 선별 가능성이 있는 것으로 나타났고, 광학특성 등을 종합적으로 이용한다면 전체적인 인자에 대한 선별이 가능할 것으로 판단되었다.

표 3-2-10. 남평 현미의 칼라 특성

|              | 색도                  |                    |                      | 백도 ***            |
|--------------|---------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
|              | L ***               | a ***              | b ***                |                   |
| 정립           | 61.00 <sup>c</sup>  | 4.18 <sup>c</sup>  | 22.73 <sup>bcd</sup> | 19.3 <sup>c</sup> |
| 미숙립          | 58.61 <sup>cd</sup> | 0.95 <sup>d</sup>  | 26.21 <sup>a</sup>   | 16.8 <sup>e</sup> |
| 백사미          | 68.67 <sup>a</sup>  | 4.63 <sup>bc</sup> | 24.91 <sup>ab</sup>  | 25.4 <sup>a</sup> |
| 청사미          | 62.96 <sup>bc</sup> | 1.41 <sup>d</sup>  | 26.03 <sup>a</sup>   | 18.7 <sup>d</sup> |
| 열손립          | 56.22 <sup>d</sup>  | 5.64 <sup>b</sup>  | 21.90 <sup>cd</sup>  | 14.3 <sup>g</sup> |
| 피해립          | 56.22 <sup>d</sup>  | 5.64 <sup>b</sup>  | 21.90 <sup>cd</sup>  | —                 |
| 피해립<br>(기형)  | 58.90 <sup>cd</sup> | 5.26 <sup>bc</sup> | 24.27 <sup>abc</sup> | 16.3 <sup>f</sup> |
| 피해립<br>(적조)  | 33.78 <sup>e</sup>  | 13.64 <sup>a</sup> | 20.68 <sup>d</sup>   | 4.5 <sup>h</sup>  |
| 피해립<br>(싸라기) | 66.02 <sup>ab</sup> | 4.38 <sup>bc</sup> | 23.18 <sup>bc</sup>  | 22.3 <sup>b</sup> |

abc

row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\*

시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-11. 일미 현미의 칼라 특성

|              | 색도                  |                    |                     | 백도 ***            |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
|              | L ***               | a ***              | b ***               |                   |
| 정립           | 64.27 <sup>bc</sup> | 3.61 <sup>cd</sup> | 22.44 <sup>cd</sup> | 19.5 <sup>d</sup> |
| 미숙립          | 63.81 <sup>bc</sup> | 1.87 <sup>e</sup>  | 24.82 <sup>b</sup>  | 20.1 <sup>c</sup> |
| 백사미          | 70.22 <sup>a</sup>  | 5.06 <sup>bc</sup> | 25.67 <sup>b</sup>  | 25.2 <sup>a</sup> |
| 청사미          | 63.52 <sup>bc</sup> | -1.38 <sup>f</sup> | 27.41 <sup>a</sup>  | 18.5 <sup>e</sup> |
| 열손립          | 51.68 <sup>d</sup>  | 6.41 <sup>b</sup>  | 22.70 <sup>cd</sup> | -                 |
| 피해립          | 63.40 <sup>bc</sup> | 4.28 <sup>cd</sup> | 23.10 <sup>c</sup>  | -                 |
| 피해립<br>(기형)  | 59.65 <sup>c</sup>  | 5.12 <sup>bc</sup> | 24.97 <sup>b</sup>  | -                 |
| 피해립<br>(적조)  | 37.31 <sup>e</sup>  | 13.28 <sup>a</sup> | 21.03 <sup>d</sup>  | 4.7 <sup>f</sup>  |
| 피해립<br>(싸라기) | 68.02 <sup>ab</sup> | 3.33 <sup>d</sup>  | 21.36 <sup>cd</sup> | 22.8 <sup>b</sup> |

abc

row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\*

시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-12. 추청 현미의 칼라 특성

|              | 색도                  |                    |                     | 백도 ***             |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|              | L ***               | a ***              | b ***               |                    |
| 정립           | 63.12 <sup>b</sup>  | 4.54 <sup>bc</sup> | 24.06 <sup>ab</sup> | 18.64 <sup>c</sup> |
| 미숙립          | 55.72 <sup>c</sup>  | 0.31 <sup>e</sup>  | 25.34 <sup>a</sup>  | 14.40 <sup>g</sup> |
| 백사미          | 71.87 <sup>a</sup>  | 4.95 <sup>bc</sup> | 25.76 <sup>a</sup>  | 26.92 <sup>a</sup> |
| 청사미          | 63.81 <sup>b</sup>  | -1.45 <sup>f</sup> | 26.01 <sup>a</sup>  | 17.78 <sup>d</sup> |
| 열손립          | 49.47 <sup>d</sup>  | 3.16 <sup>d</sup>  | 15.00 <sup>d</sup>  | 13.40 <sup>h</sup> |
| 피해립          | 59.29 <sup>bc</sup> | 4.80 <sup>bc</sup> | 22.39 <sup>bc</sup> | 16.48 <sup>e</sup> |
| 피해립<br>(기형)  | 58.40 <sup>bc</sup> | 5.75 <sup>b</sup>  | 24.50 <sup>ab</sup> | 15.84 <sup>f</sup> |
| 피해립<br>(적조)  | 40.20 <sup>e</sup>  | 11.82 <sup>a</sup> | 20.52 <sup>c</sup>  | 8.94 <sup>i</sup>  |
| 피해립<br>(싸라기) | 62.63 <sup>b</sup>  | 4.28 <sup>c</sup>  | 22.24 <sup>bc</sup> | 19.90 <sup>b</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-13. 남평 백미의 칼라 특성

|     | 색도                 |                    |                    | 백도 ***            |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|     | L ***              | a ***              | b ***              |                   |
| 정상립 | 73.51 <sup>b</sup> | -0.91 <sup>c</sup> | 10.23 <sup>d</sup> | 41.7 <sup>b</sup> |
| 열손립 | 58.34 <sup>d</sup> | 4.11 <sup>a</sup>  | 18.24 <sup>a</sup> | 18.1 <sup>d</sup> |
| 피해립 | 62.43 <sup>c</sup> | 2.28 <sup>b</sup>  | 14.93 <sup>b</sup> | 24.2 <sup>c</sup> |
| 싸라기 | 78.18 <sup>a</sup> | -0.51 <sup>c</sup> | 13.31 <sup>c</sup> | 42.8 <sup>a</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임  
 \*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-2-14. 일미 백미의 칼라 특성

|     | 색도                 |                    |                    | 백도 ***            |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|     | L ***              | a ***              | b ***              |                   |
| 정상립 | 72.26 <sup>b</sup> | -0.88 <sup>c</sup> | 11.43 <sup>c</sup> | 39.5 <sup>b</sup> |
| 열손립 | 59.79 <sup>d</sup> | 3.18 <sup>a</sup>  | 16.23 <sup>a</sup> | 19.5 <sup>d</sup> |
| 피해립 | 65.30 <sup>c</sup> | 1.66 <sup>b</sup>  | 13.33 <sup>b</sup> | 25.8 <sup>c</sup> |
| 싸라기 | 82.09 <sup>a</sup> | -0.32 <sup>c</sup> | 13.77 <sup>b</sup> | 47.0 <sup>a</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임  
 \*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음



표 3-2-15. 추청 백미의 칼라 특성

|     | 색도                 |                    |                    | 백도 ***             |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|     | L ***              | a ***              | b ***              |                    |
| 정상립 | 71.27 <sup>b</sup> | -0.70 <sup>c</sup> | 12.25 <sup>b</sup> | 39.38 <sup>b</sup> |
| 열손립 | 61.62 <sup>c</sup> | 1.39 <sup>b</sup>  | 13.19 <sup>b</sup> | 22.62 <sup>c</sup> |
| 피해립 | 59.13 <sup>c</sup> | 3.50 <sup>a</sup>  | 21.20 <sup>a</sup> | 17.72 <sup>d</sup> |
| 짜라기 | 76.55 <sup>a</sup> | -0.78 <sup>c</sup> | 11.79 <sup>b</sup> | 42.52 <sup>a</sup> |

abc row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

\*, \*\*, \*\*\* 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

#### 4. 기하학적 및 칼라특성을 이용한 외형인자 판별

영상처리시스템을 이용하여 쌀의 외형인자를 판별하기 위해서는 쌀의 기하학적 및 칼라특성 정보를 기본으로 하여 판별알고리즘을 개발하고 측정되는 시료의 정보를 획득하여 이를 종합적으로 분석하여 판별하여야 한다. 이는 품종과 외형인자가 대부분 기하학적 및 칼라특성이 뚜렷하지만 일부 외형인자별 단립에서는 특성이 중복되는 경우가 발생하기 때문이다.

현미의 경우 면적, 장단축비, 장축, 단축 및 원형을 등에 대하여 외형인자별로 유의적인 차이가 나타났지만, 그림 3-2-15~3-2-18에서와 같이 외형인자별로 기하학적 특성으로 판별하기에 어려운 특성들이 나타났다. 면적의 경우 정립과 피해립(싸라기)에서 판별 가능성이 있지만 다른 인자들은 판별이 다소 어렵다고 판단되었다. 따라서, 면적을 기준으로 할 경우 면적으로 1차 판별하고, 2차로 다른 특성으로 확인이 필요하는 2차 판별이 필요하였다. 장단축비는 피해립의 판별에 효율적인 것으로 나타났으며, 단축도 피해립에 대해서 뚜렷한 특성을 나타내었다.

백미의 경우 그림 3-2-19~3-2-22에서와 같이 싸라기 이외의 정상립, 피해립, 열손립 등에 대해서는 기하학적 특성으로는 판별하기에는 어려운 것으로 판단되었다(부록 참조).

현미의 외형인자 별 백도 및 Lab 등 칼라특성은 그림 3-2-23~3-1-26과 같다. 그림에서와 같이 L값은 피해립 중 앵미와 열손립을 판별할 수 있는 가능성이 있었으며, a값은 청사미, 모양피해립 등을 판별할 수 있었다. 백도는 피해립 중 앵미, 백사미, 싸라기, 정상립 등 Lab값에 비해 판별 가능성이 크게 나타났다.

백미의 외형인자 별 백도 및 Lab 등 칼라특성은 그림 3-1-27~3-1-30과 같았으며, L값은 정상립과 싸라기, a값은 대부분의 외형인자에서 판별 가능성이 있었다. 백도도 a값과 마찬가지로의 경향이였다.

따라서, 현미 및 백미의 외형인자를 판별하기 위해서는 우선적으로 칼라특성을 이용하여 판별하고, 2차적으로 외형인자를 적용하여 판별하는 것이 적정한 것으로 판단되었다.

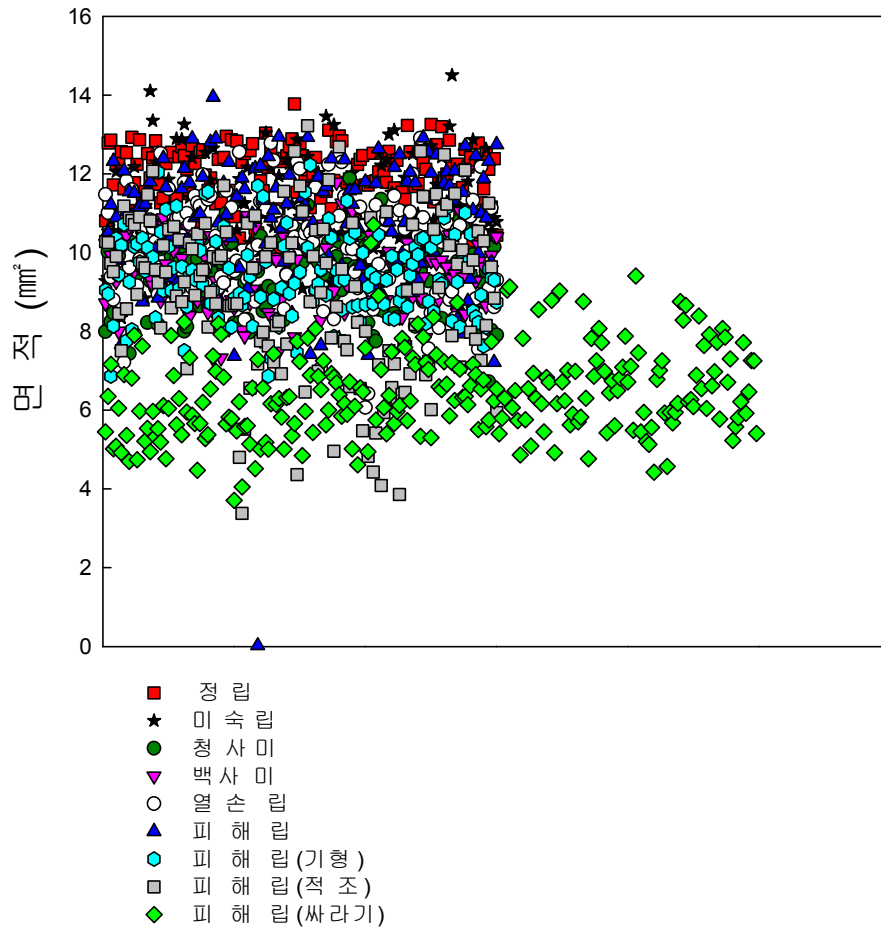


그림 3-2-15. 일미 현미의 외형품질인자별 면적 특성

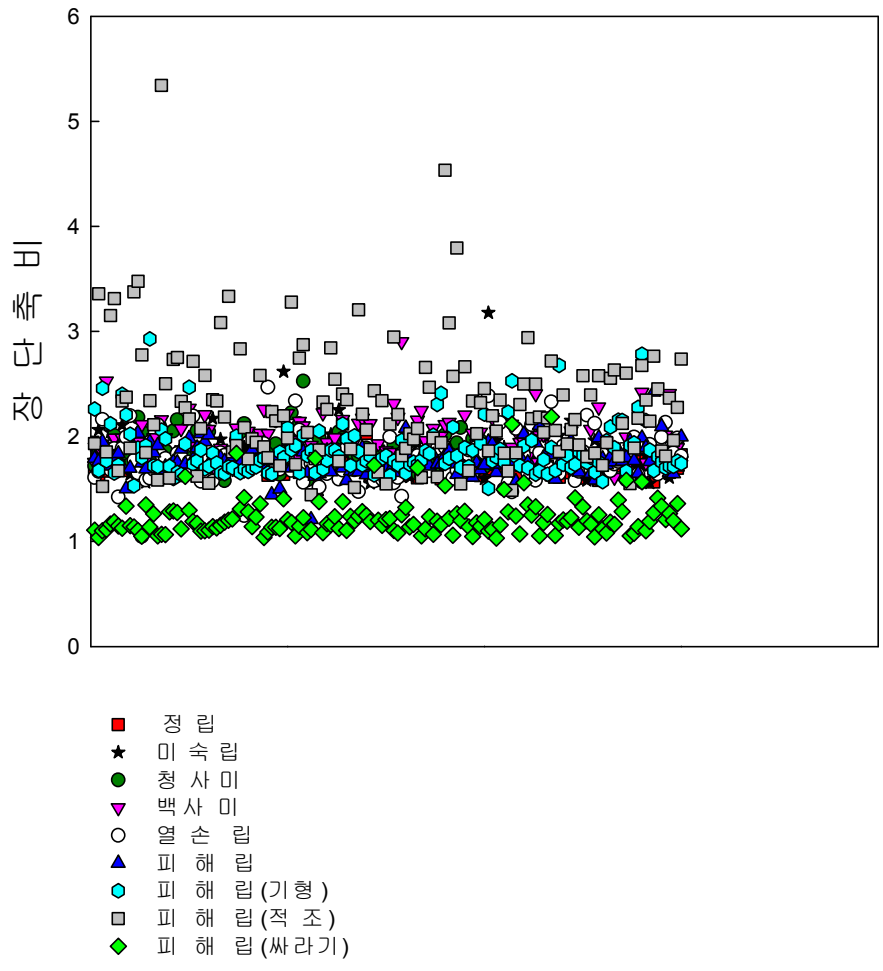
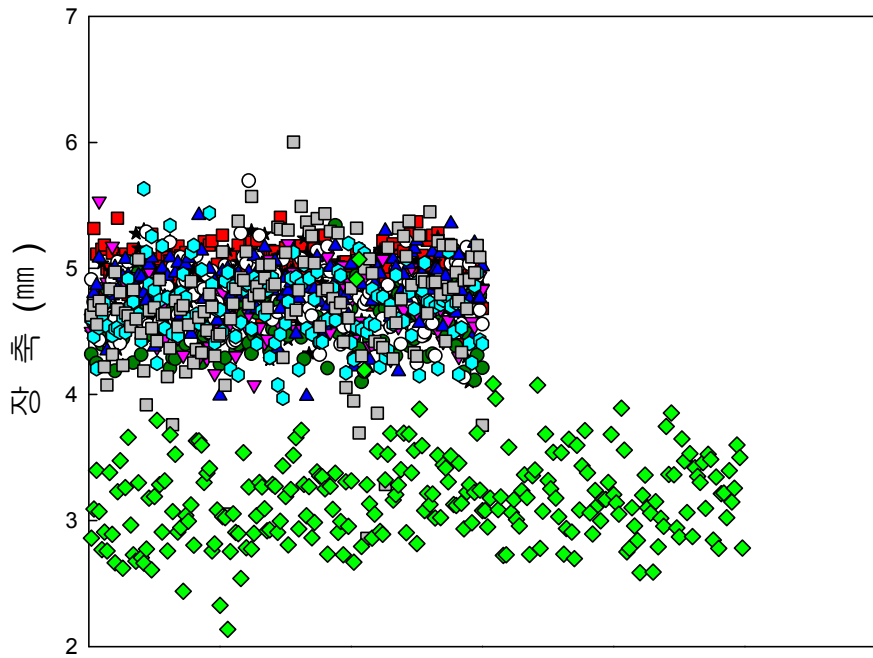
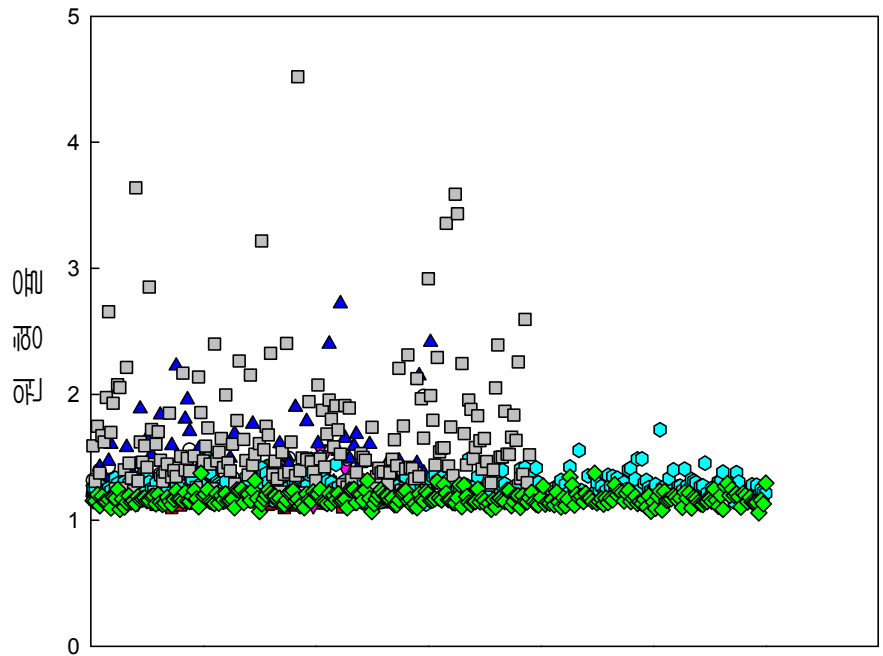


그림 3-2-16. 추청 현미의 외형품질인자별 장단축비 특성



- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

그림 3-2-17. 일미 현미의 외형품질인자별 장축 특성



- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- ⬡ 피해립(기형)
- ◻ 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

그림 3-2-18. 남평 현미의 외형품질인자별 원형을 특성

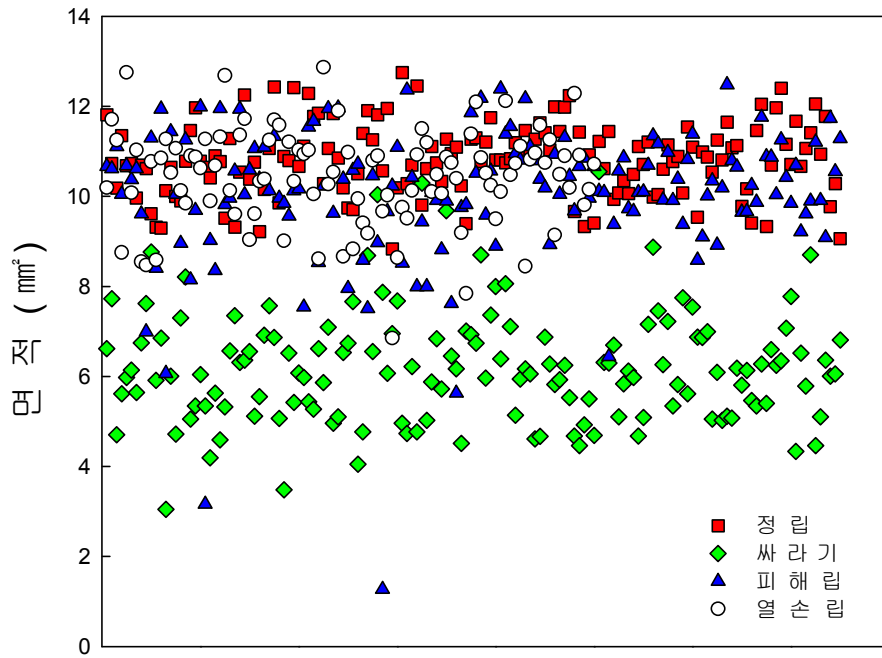


그림 3-2-19. 추청 백미의 외형품질인자별 면적 특성

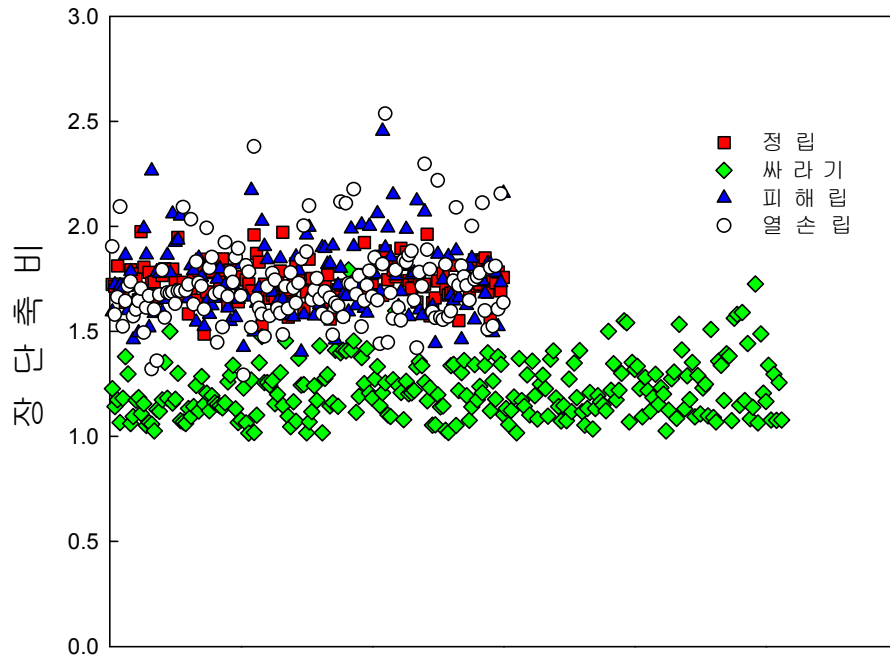


그림 3-2-20. 일미 백미의 외형품질인자별 장단축비축 특성



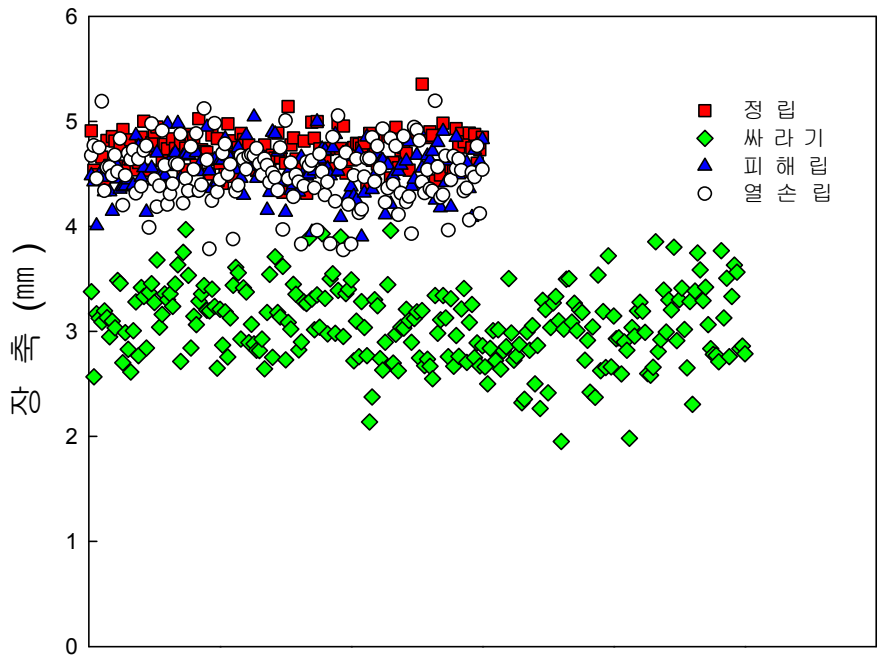


그림 3-2-21. 남평 백미의 외형품질인자별 장축 특성

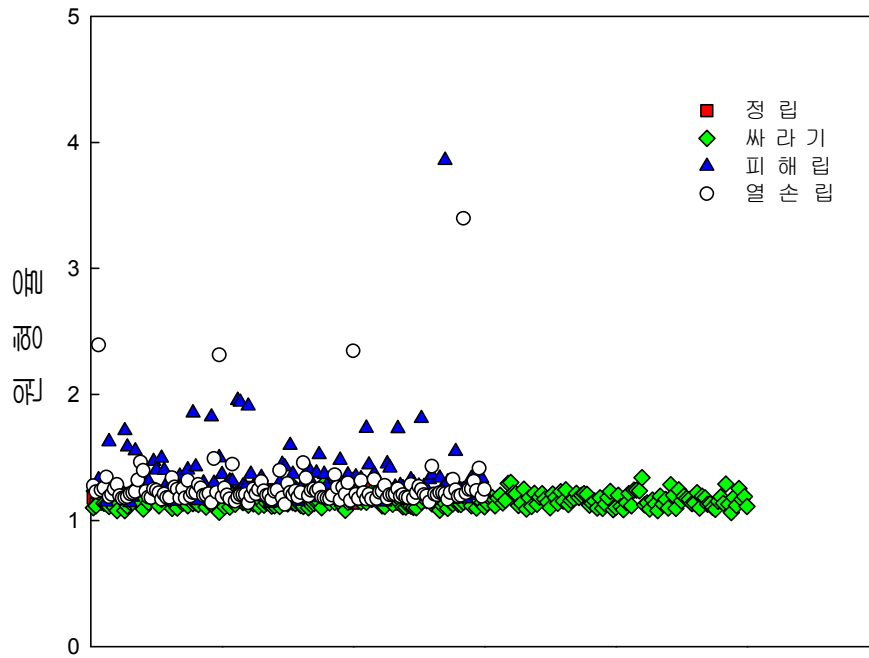
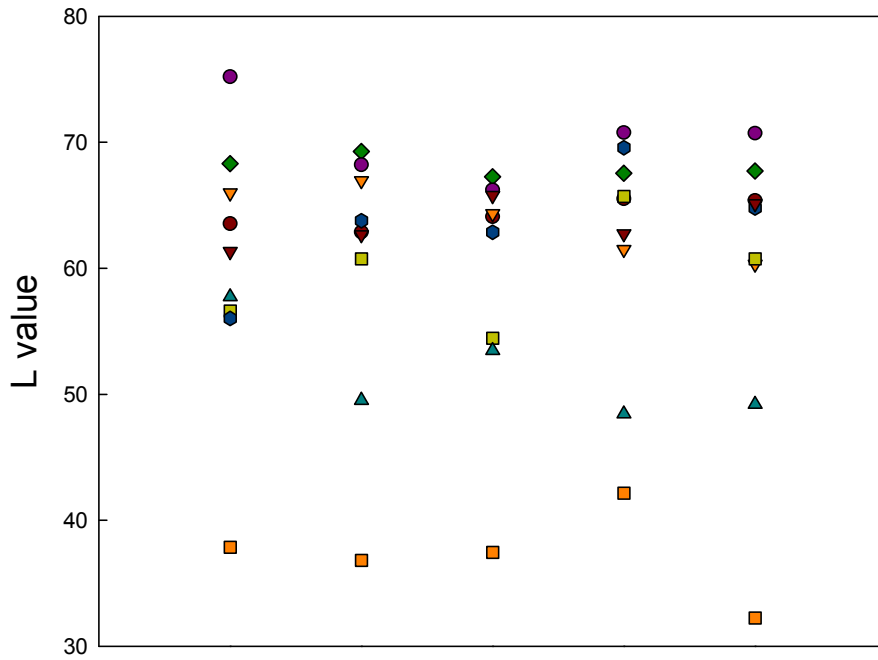
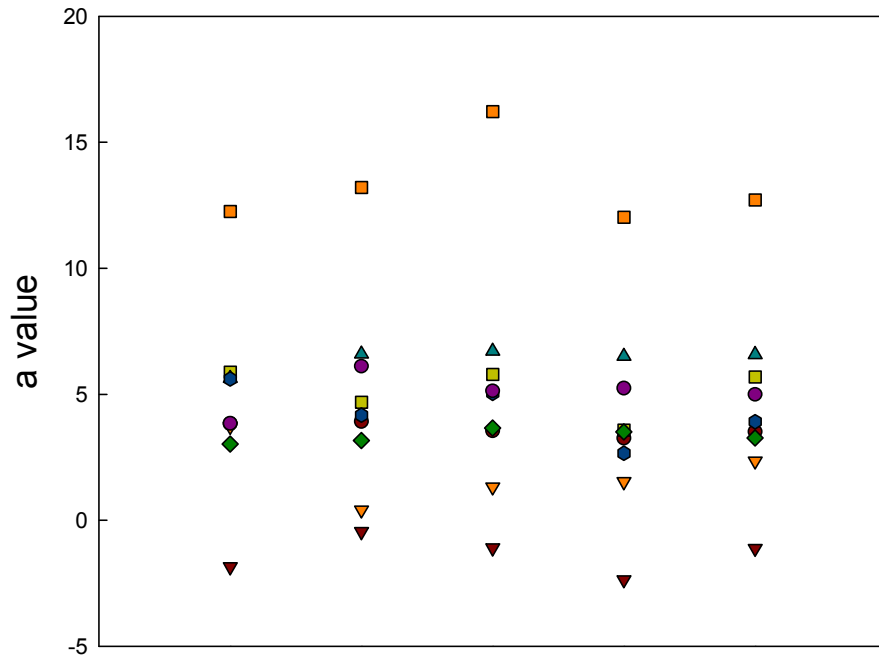


그림 3-2-22. 남평 백미의 외형품질인자별 원형을 특성



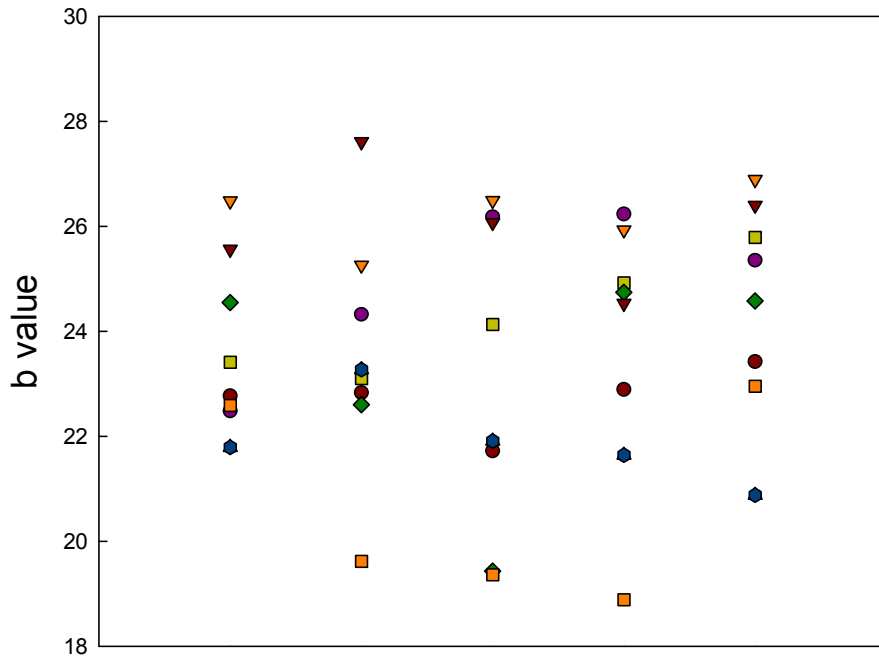
- 정상립
- ▼ 미숙립
- 피해립(모양)
- ◆ 싸라기
- ▲ 열손립
- ◆ 피해립
- 백사미
- ▼ 청사미
- 앵미

그림 3-2-23. 일미 현미의 외형품질인자별 L값 특성



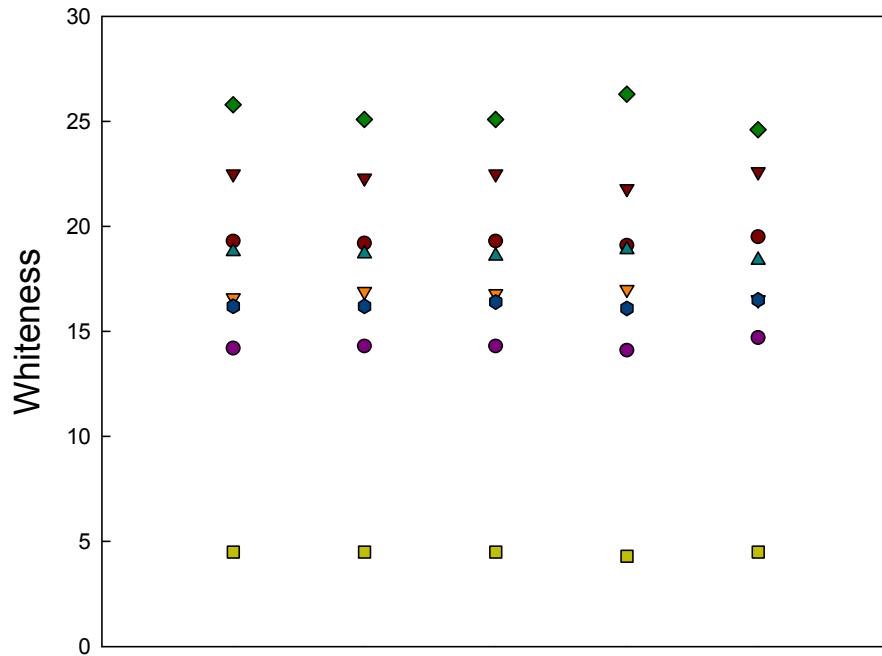
- 정 상 립
- ▼ 미 숙 립
- 피 해 립(모양)
- ◆ 싸 라 기
- ▲ 열 손 립
- ◆ 피 해 립
- 백 사 미
- ▼ 청 사 미
- 앵 미

그림 3-2-24. 일미 현미의 외형품질인자별 a값 특성



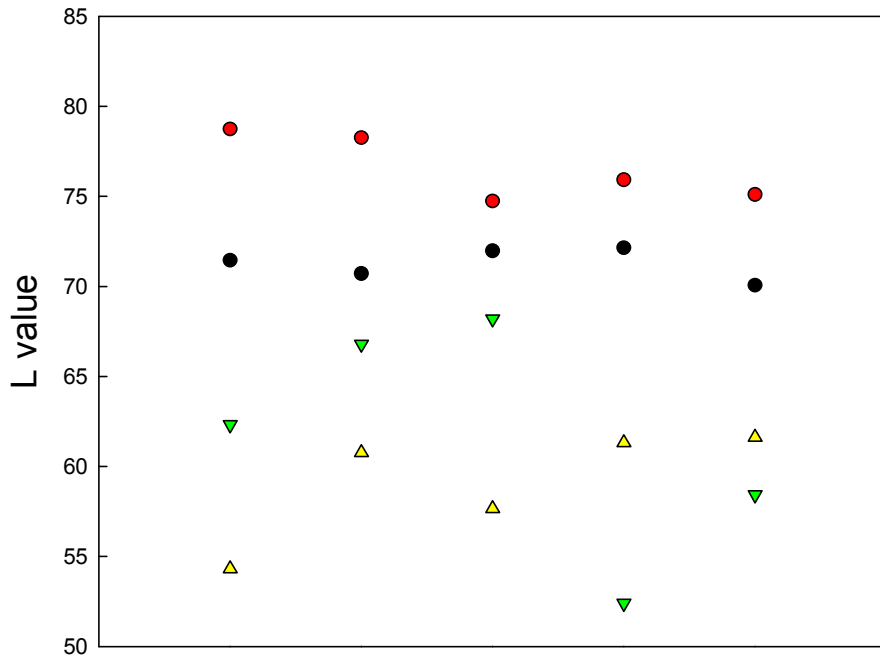
- 정상립
- ▼ 미숙립
- 피해립(모양)
- ◆ 싸라기
- ▲ 열손립
- ◆ 피해립
- 백사미
- ▼ 청사미
- 앵미

그림 3-2-25. 남평 현미의 외형품질인자별 b값 특성



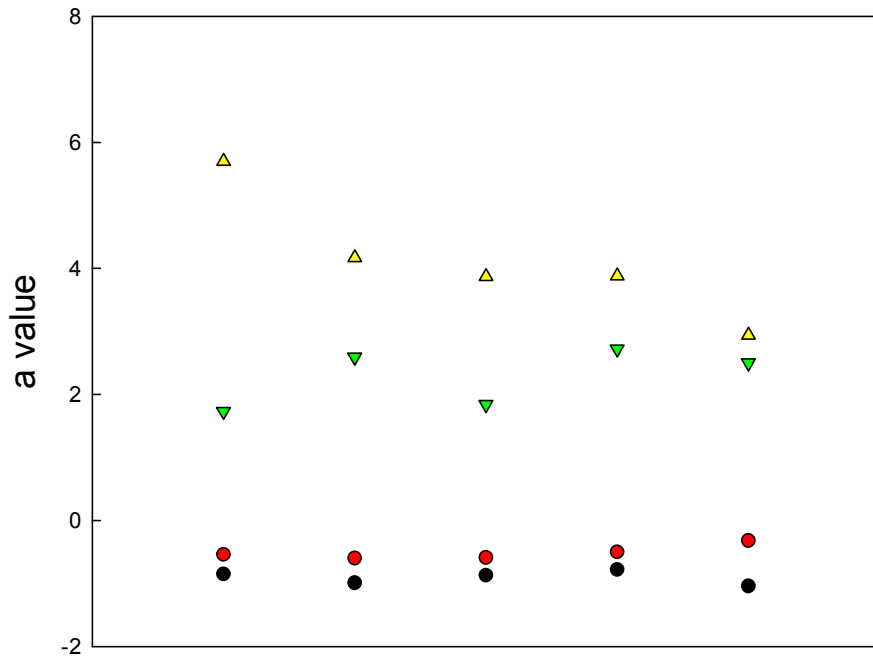
- 정상립
- ▼ 미숙립
- 앵미
- ◆ 백사미
- ▲ 청사미
- ◆ 피해립(모양)
- 열손립
- ▼ 싸라기

그림 3-2-26. 남평 현미의 외형품질인자별 백도 특성



- 정상립
- 싸라기
- ▼ 피해립
- ▲ 열손립

그림 3-2-27. 추청 백미의 외형품질인자별 L값 특성



- 정상립
- 싸라기
- ▼ 피해립
- ▲ 열손립

그림 3-2-28. 남평 백미의 외형품질인자별 a값 특성



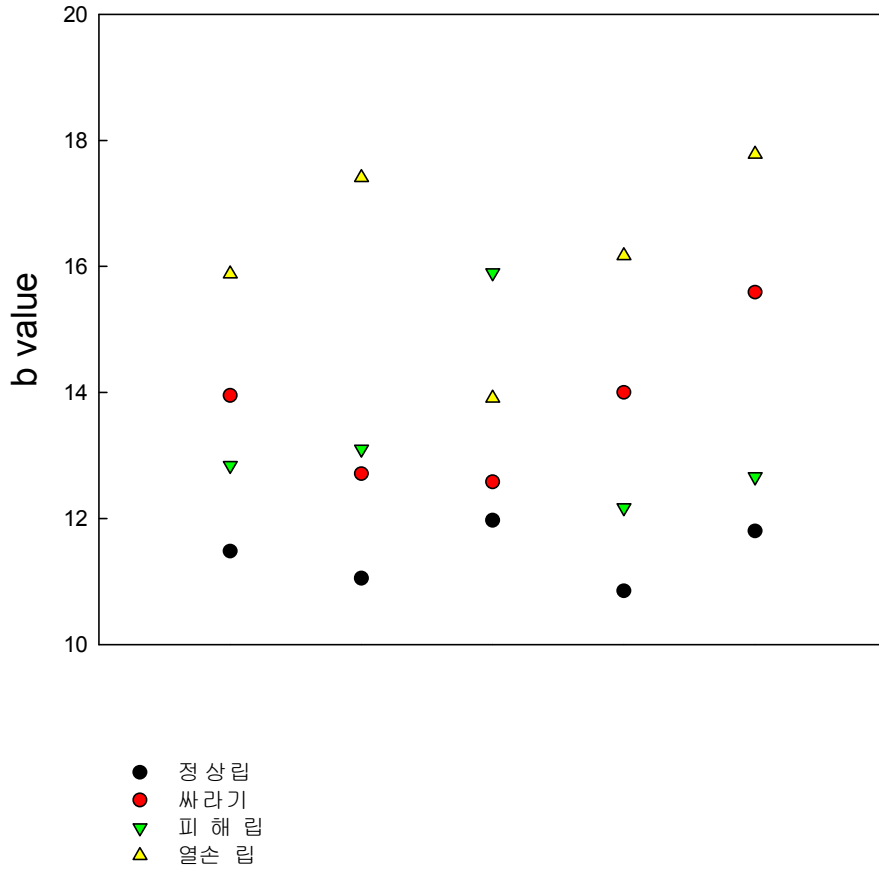


그림 3-2-29. 일미 백미의 외형품질인자별 b값 특성

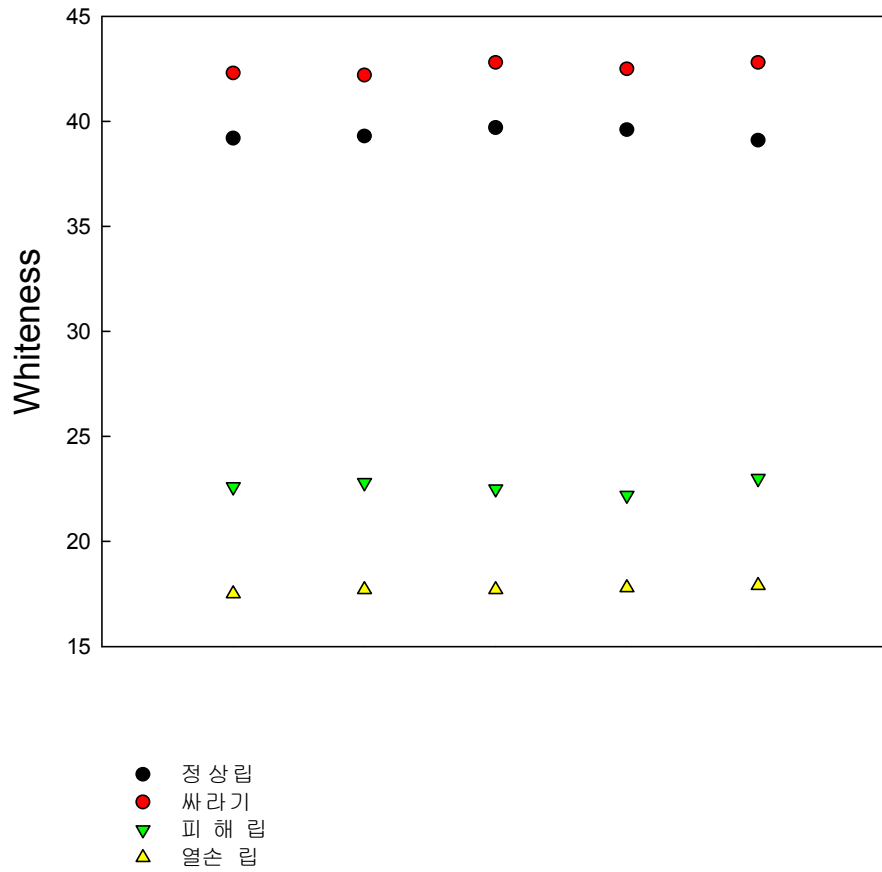


그림 3-2-30. 추청 백미의 외형품질인자별 백도 특성

현미 및 백미의 외형인자 별 판별을 위해서 3 품종에 대한 기하학적 및 칼라특성을 측정된 자료를 기초로 하여 다음의 그림 3-2-31과 같은 판별 순서도를 작성하였다.

현미 및 백미의 외형인자를 판별을 위해서는 기하학적 및 칼라특성 뿐만 아니라 측정 대상시료의 품종 등에 따라서도 특성이 상이하게 다르므로 측정의 정확도를 높이기 위해서는 측정 대상시료에 대한 기하학적 및 칼라특성과 광학적 특성 등의 정보가 종합적으로 고려되어야 한다.

순서도에서와 같이 쌀의 외형을 선별하기 위해서는 크기(장축, 단축, 장단축비, 면적 등), 형상(정상, 기형 등), 칼라 등 다양한 선별인자를 필요로 하며, 이들 선별인자와 외형인자간의 선별특성은 표 3-2-10~3-2-15를 기준으로 하였다.

따라서, 측정된 현미 및 백미의 기하학적 및 칼라특성을 고려하고, 다음의 순서도는 종합품질측정시스템의 외형인자 판별에 기초자료로 활용이 가능하였다. 또한, 미숙립, 분상질립과 같이 크기 및 칼라특성으로 판별의 한계가 있는 인자들의 광학적 특성 즉, 일정한 광에 대하여 반응하는 투과도의 차이를 적용하는 것이 필요하였다.

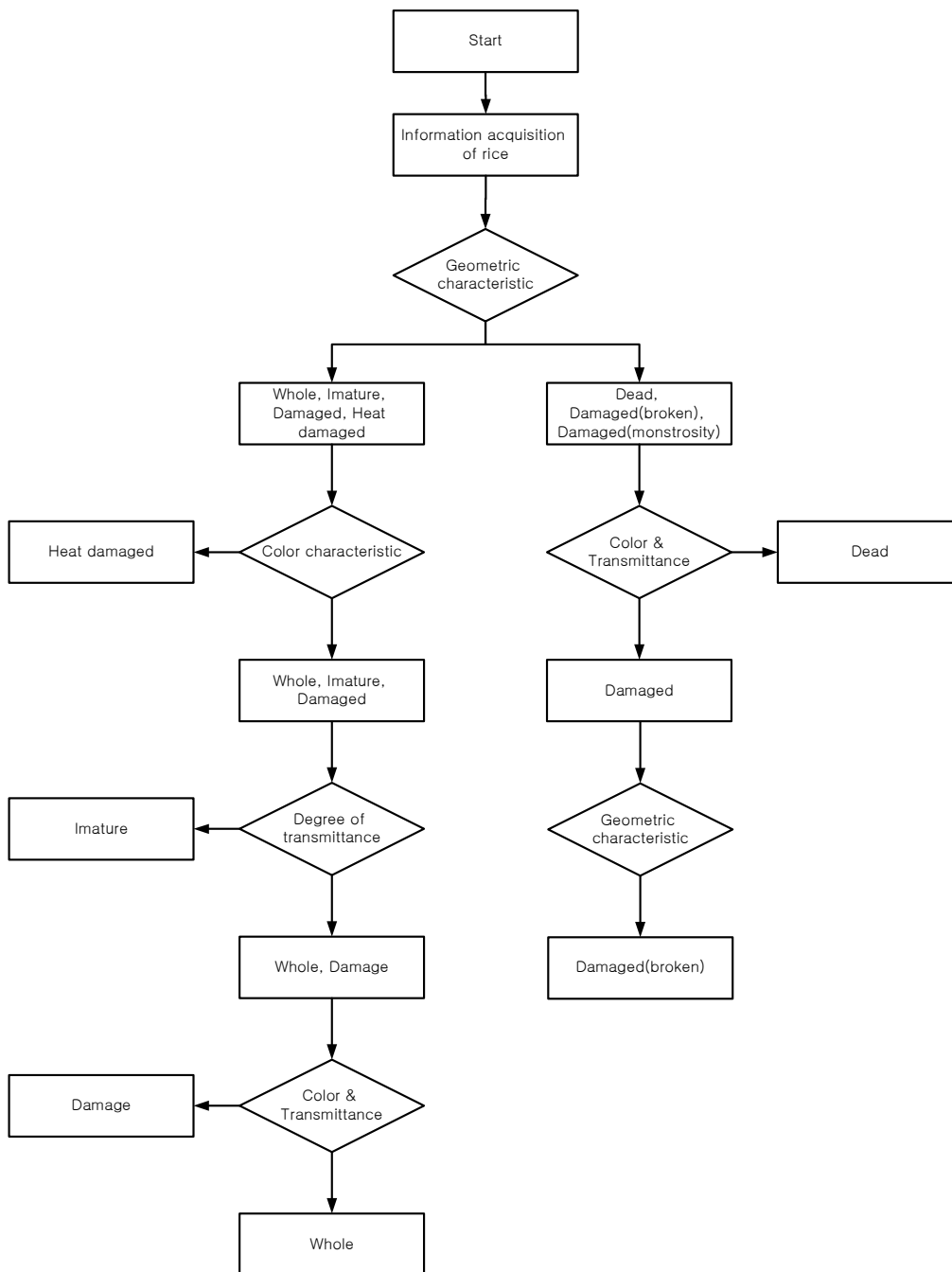


그림 3-2-31. 쌀의 외형인자 판별 순서도

## 5. 외형인자 측정시스템 개발

### 가. 설계 기본방향

외형인자 측정시스템의 설계시 기본방향은 현미 및 백미의 외형인자의 측정뿐 만 아니라 백도, 투명도 및 윤기의 측정이 가능한 시스템으로 설계하였다. 또한, 단립 및 산물상태로 시료의 정렬과 측정이 가능하도록 설계하였다.

최종적으로 종합품질측정시스템으로의 활용이 가능하도록 외형인자를 측정하기 위한 각종 기기의 부착과 NIR 센서 등의 기기도 활용이 가능하도록 기구적으로 이를 고려하여 설계하였다.

시스템의 사용장소는 규모 및 계측장치, 센서 등을 고려하여 실내에서 고정형으로 사용되도록 하였으며, 소요전력은 일반가정용 전력을 공급되도록 설계하였다. 센서, 조명장치, 카메라 및 이송기기 등의 작동오차를 최소화 하기위해 각각의 기기에 대한 전기 안전공급장치를 부착하고, 측정부는 광의 반사가 없고, 색의 영향이 최소화되도록 소재를 선정하였다.

획득되는 쌀의 영상은 사용자가 인자 정보로 사용이 가능한 수준, 백도, 투명도, 윤기 등의 광학적 분석이 가능한 해상도를 선정하였으며, 이를 토대로 처리 속도, 저장 능력 등을 고려하여 제어장치부를 설계하였다. 시료의 이송, 정렬, 배출 등의 동적기기류는 소음, 소요에너지 등을 고려하여 최소화되는 수준으로 설계하였다.

### 나. 시스템 설계 및 제작

시스템은 크게 영상획득장치, 시료부, 영상처리장치 및 제어부 등으로 구성하였으며, 영상획득장치는 CCD카메라, 렌즈, 링, 동축 및 Backlight 등 3종의 조명장치 등으로 구성하였다. 시료부는 단립 및 산물 시료대, 시료대 이송장치 등으로 구성하였고, 영상처리장치, Frame grabbe 및 영상저장, 처리, 모니터링 등으로 구성하였다. 제어부는 3종의 조명에 대하여 위치제어와 조명의 광조정, 영상획득장치의 위치제어 등을 위해 Y-T table, 스

탭핑 모터, 로터리엔코더, Linear stage table, Timing belt 및 pulley, 각종 지그 및 bucket 등으로 구성하였다.

측정되는 영상의 데이터베이스를 위해 Microsoft Access를 이용하여, 외장형 저장장치(7200rpm, USB 2.0)와 연계하여 구성하였음. 이미지의 모니터링을 위해 23인치 DVI 및 DSUB가 지원되는 모니터(1600×1200)를 구성하였다.

표 3-2-16. 주요기기의 제원

| Instruments        |            | Specification  |
|--------------------|------------|--|
| Camera             |            | progressive scan color CCD<br>resolution : 640×480         |
| Frame grabber      |            | matrox meteor2 mc<br>2ch RGB<br>non-interaced signal input |
| Illumination       | Ring       | white ultra brightness<br>FOV : ∅90                        |
|                    | Co-axial   | white ultra brightness<br>FOV : 50×50                      |
|                    | Back       | white ultra brightness<br>FOV : 50×50                      |
|                    | Controller | 4ch<br>brightness control : 0~255                          |
| Acquisition system |            | intel Pentium IV<br>300GB HDD<br>1G RAM                    |

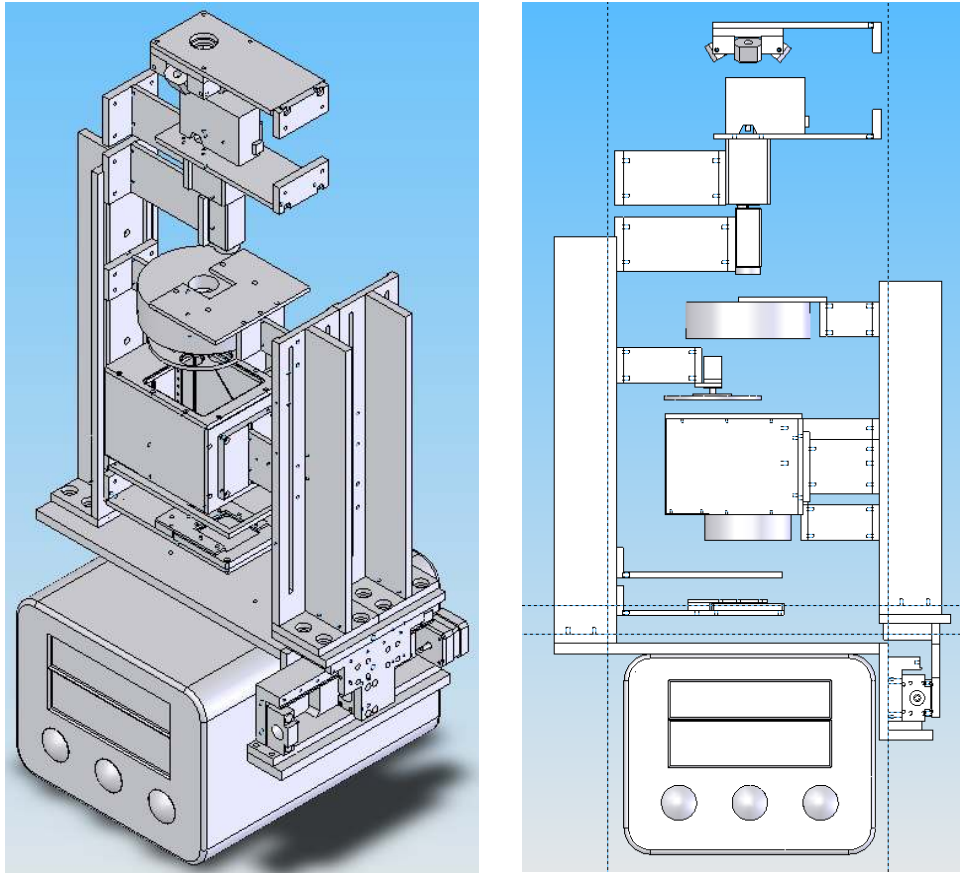


그림 3-2-32. 시작기의 영상획득장치 외형도

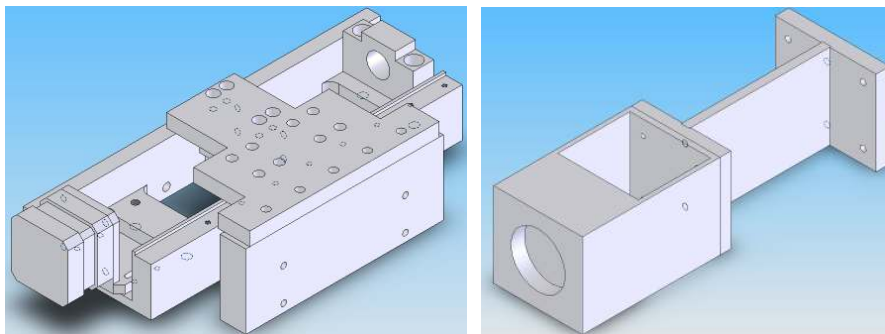


그림 3-2-33. Linear stage table(좌) 및 Co-Axial light(우)

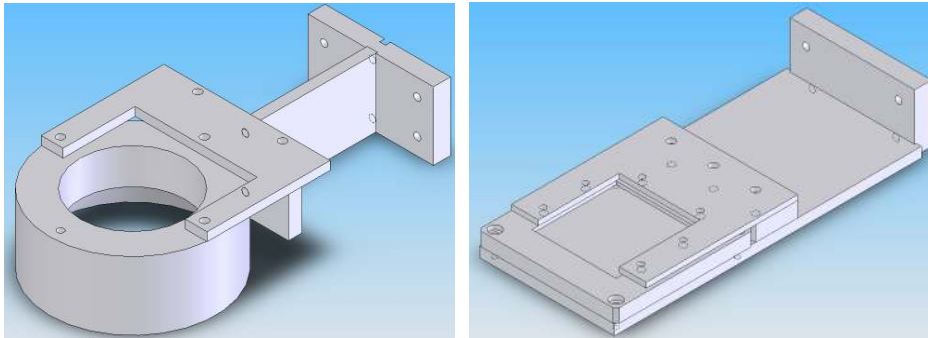


그림 3-2-34. Ring light(좌) 및 Back light(우)



그림 3-2-35. 외형인자 측정시스템 시작기



## 다. 영상처리 및 운영프로그램 개발

이미지 분석프로그램은 기본적으로 다양한 실험조건에 대응이 가능하도록 개발하였다. 사용 언어는 Visual C++을 이용하여 개발하였으며, Microsoft Embedded O/S를 이용하여 GUI-Based의 사용자 인터페이스를 개발하였고, 영상의 데이터베이스화를 위해 Microsoft Access(ver 2007)와 연계가 가능하도록 개발하였다.

그림 3-1-36은 개발한 이미지 분석프로그램으로서 프로그램 좌상단에는 영상 모니터링이 가능하도록 하였으며, 우측에는 프로그램 내에서 각종 이송장치의 위치제어와 구동(자동 또는 수동), 수동 및 자동 조명선정, 조명의 밝기 조절, 조명 3개에 대한 단독 또는 조합 조명선정 등이 가능하도록 개발하였다. 프로그램 하단에는 측정되는 영상 등에 대한 실시간 정보가 제공되도록 하였다.

획득되는 영상은 조명상태, 데이터베이스 입력상태, 시료의 조건 등이 실시간으로 모니터링이 가능하고, 이는 영상으로도 모니터링이 가능하도록 하였고, 데이터의 저장, 입출력이 가능하도록 개발하였다. 다량의 영상을 저장, 입출력이 가능하도록 외장형 저장장치를 별도로 설치하였으며, 프로그램내에 이미지 수정, 압축 등이 가능하도록 프래그래밍 하였다.



영상처리의 방법은 우선적으로 특정한 조명조건 하에서 쌀의 영상을 CCD카메라로 획득하게 되면, CCD카메라는 영상을 아날로그 신호 형태인 전기 신호로 변환하게 된다.

CCD(Charge Coupled Device)는 2차원 배열 형태의 센서가 있는데, 빛을 감지하여 빛의 세기에 비례하는 전기 신호로 바꾸어주는 광좌(photo site)와 전기 신호를 읽어내는 전자회로 등으로 구성되어 있다.

CCD카메라로 취득한 영상의 전기 신호는 디지털라이저에 포함된 아날로그-디지털(AD) 변환 기능을 통해 변환하도록 하였다. 변환된 신호는 PC에 저장하여, 영상처리 연산을 위해 입출력이 가능하도록 하였다. 영상처리 데이터를 디지털-아날로그(DA) 변환기능을 통해 아날로그 신호 형태로 재구성한 후 모니터로 출력하도록 하였다. PC 기반으로 전체 장치의 조절과 영상획득, 처리, 저장 및 표시 등으로 인터페이스를 제공하도록 하였다(그림 3-2-38).

운영프로그램에서 컬러 기준값 보정이 가능하도록 하였고, 외형의 외곽선 추출, Blob analysis 및 Roughness, Eccentricity, Roundness 등 형태인자를 추출하도록 개발하였다. 또한, 칼라 분석기능(RGB, Lab 등 color space)과 영상 및 데이터 저장, 조회, 수정 등이 가능하도록 개발하였다.

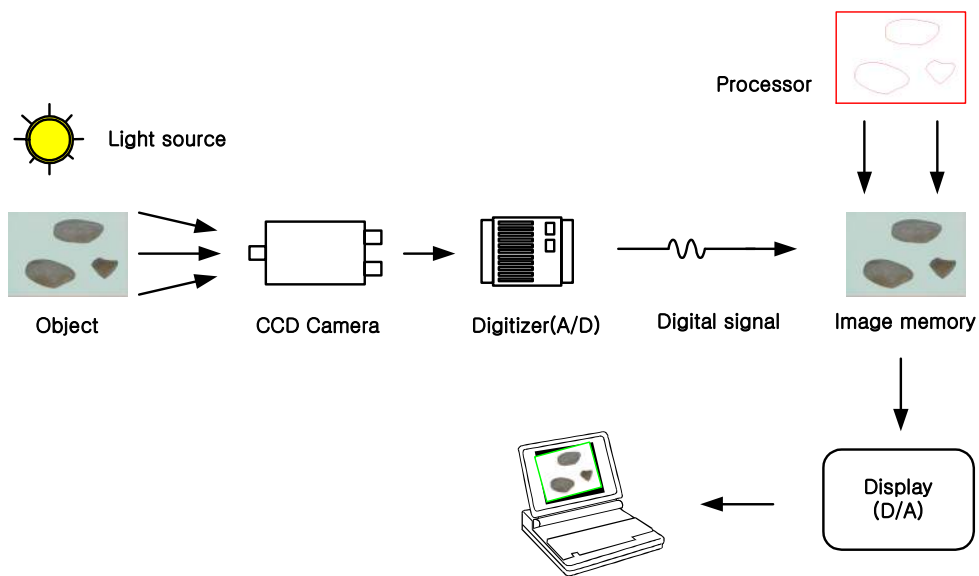


그림 3-2-38. 영상처리 순서도

## 라. 성능평가

### 1) 외형인자별 영상획득

#### ① 공시재료

현미 및 백미의 외형인자에 대한 정보를 획득하기 위하여 사용한 시료는 2006년산 남평, 일미 및 추청 등 3품종으로서 경기, 충남 등 산지 RPC 3개소를 직접 방문하여 현미는 입선별기 및 석발기를 통과하는 정립 및 비정상립을 수집하였다. 백미는 최종 생산되는 공정에서 정상립을 백도 약 40수준에서 수집하였고, 로터리쉬프터, 색채선별기 및 체선별기 등에서 선별되는 불량립을 수집하였다. 수집된 3품종의 현미 및 백미를 수작업으로 외형인자별로 선별하였다. 선별후 밀봉하여  $-2^{\circ}\text{C}$ 의 저온저장고에 보관하면서 실험일정에 따라 외기에 충분히 방치하여 외기온도와 평형을 이루도록 한 후 사용하였다.

#### ② 성능평가 방법

3품종 현미 및 백미의 외형인자를 개발한 시스템을 이용하여 단립 및 산물상태의 영상을 획득하고 정보를 추출하였다. 시스템에 구성되어 있는 3종의 조명(동축조명, 링조명 및 백라이트)은 밝기의 단계뿐 만 아니라 단독사용, 2개 조명조합, 3개 조명조합 등에 따라 영상 정보가 상이하므로 이들의 조합에 따른 최적 영상조건을 분석하였다. 이를 위해 동축조명은 0~3범위의 7단계, 링조명은 0~255범위의 10단계, 백라이트 0~50범위의 9단계에 대하여(외형인자 단립 별 총 630개 영상) 단독 또는 조합된 영상 획득하였다.

획득한 영상은 운영 프로그램내에서 영상처리를 실시하여 기하학적, 칼라 등 정보를 획득하고 이미 측정된 시료의 기하학적특성, 백도, Lab 등 표준측정값을 목적함수로 두고 다중회귀분석을 실시하여 최적 영상조건을 선정하였다.

표준측정값을 이용하기 위하여 영상시스템(Micro Hi-scope system, Hirox Co., Japan)과 영상프로그램(Image-Pro 1.3, Media Cybernetcs, USA)을 이용하여 면적, 장축, 단축, 장단축비 및 원형을 등을 측정하였다. 백도는 백도계(CR 300-3, Kett, Japan)로 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였고, Lab값은 시료를 원통형 용기(41×12.5mm)에 담아 흑색패드에서 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였으며, tube는 light-projection tube (CRA33)을 사용하였다. Lab값은 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였다.

현미 피해립 중 동할립의 경우 다른 외형인자에서 사용한 조명조합으로는 판별력이 크게 저하되므로 동축조명, 링조명 및 백라이트 조명의 단독 또는 조합과 함께 조명의 각도를 고려하여 영상을 획득하였다.

### ③ 성능평가 결과

그림 3-2-39~3-2-41은 동축, 링 및 백라이트 조명하에서 조명의 단계별로 백미 열손립의 영상 특성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 동축 및 링조명은 시료의 개체인식과 칼라를 잘 나타낼 수 있었으며, 특히 동축은 칼라보다는 형상을 인식하는데 효율적이었으며, 링조명은 칼라뿐만 아니라 형상을 인식하는데도 적절한 조명으로 나타났다. 백라이트는 시료의 칼라정보를 획득하기는 어려운 반면, 투과도를 이용하여 피해립, 분상질립 등 정상립과 내부성분이 다른 품질인자를 측정하기에 적합한 것으로 판단된다. 또한, 링조명과 백라이트 조명을 조합하여 사용할 경우 칼라의 표현은 다소 모호하였지만, 형상을 인식하는데도 가장 효율적인 것으로 나타났다.



1(Low)                      2                      3                      4                      5(High)

그림 3-2-39. 동축조명하에 조명의 단계별 영상 특성



1(Low)                      2                      3                      4                      5(High)

그림 3-2-40. 링조명하에 조명의 단계별 영상 특성



1(Low)                      2                      3                      4                      5(High)

그림 3-2-41. 백라이트 조명하에 조명의 단계별 영상 특성

그림 3-2-39~3-2-41에서와 같은 조명별 영상 특성을 기초로 하여 동축조명은 0~3범위의 7단계, 링조명은 0~255범위의 10단계, 백라이트 0~50범위의 9단계 등에서 단독 또는 조합된 630개의 영상 중 표준측정 값과 다중회귀분석에 의해 결정계수 및 표준편차를 기준으로 적정 조명조건을 선정하였다.

조명조건은 형상인식, 칼라 및 투과도 등 외형인자 판별에 적정한 5가지이며, 종합품질측정시스템의 설계자료로 활용이 가능하였다.



그림 3-2-42. 획득된 현미 외형인자별 영상





정립



분상질립



열손립



피해립



피해립(적조)



피해립(기형)



피해립



피해립(기형)



싸라기

그림 3-2-43. 획득된 백미 외형인자별 영상

## 2) 시스템의 성능

### ① 공시재료

시스템의 성능을 평가하기 위한 공시재료는 현미의 경우 2007년산 추청현미로서, 화성지역 RPC에서 현미기, 현미분리기를 통과한 후 입선별기에 투입되기 전의 현미를 수집하여 사용하였다.

백미는 유통되고 있는 일미를 구입하여 실험의 조건에 맞추어 사용하였다. 백미는 수작업으로 포장등급규격 “특”, “상”, “보통” 등급과 유사하게 조정하여 PVC 필름으로 각각 밀봉한 후 2℃ 저온저장고에 보관하였다. 실험전 24시간전에 시료를 밀봉상태로 상온에 방치한 후 곡온이 평형을 이루도록 한 후 사용하였다.

### ② 실험방법

#### (가) 검사요원간의 외형인자 판별 오차율

검사요원간의 외형인자 판별 오차율을 측정하기 위한 검사요원은 6인(남 1, 여 5인)이었으며, 한국식품연구원(이하 식품연) 유통연구단에 근무하는 전문 검사요원으로 쌀 품위측정 경력은 평균 1년 6개월(6개월~3년)이었다(김 등, 2005).

현미 및 포장등급규격 “특”, “상”, “보통”의 3등급으로 조정한 백미 50g을 이용하여 검사요원 6인이 외형인자를 각각 수작업으로 선별한 후 전자저울(Sartorius, B6100, GER)로 중량을 계량하여 품위를 측정 비교하였으며, 오차율은 표준편차를 기준으로 하였다.

#### (나) 시스템의 외형인자 판별율

현미 및 포장등급규격 “특”, “상”, “보통”의 3등급으로 각각 조정한 백미 100립을 대상으로 외형인자를 판별하였으며, 동일한 시료에 대하여 검사요원 1인이 외형인자를 수작업으로 판별하였다.

### ③ 성능평가 결과

#### (가) 검사요원간의 외형인자 판별 오차율

포장등급규격 “특”, “상”, “보통”의 백미에 대한 검사요원간의 품위측정 결과 및 오차율은 다음의 표 3-2-17~3-2-19와 같다.

검사요원간의 등급별 정립의 오차율은 0.14~0.32%범위이었으며, “특” 및 “상”등급에 비해 “보통”등급에서 오차율이 높게 나타났다. 싸라기의 오차율도 “특”(0.15%)과 “상”(0.10%)에 비해 “보통”(0.24%)에서 높게 나타났다. 또한, 불량립의 포장등급규격별 오차율은 분상질립 0.05~0.08%범위, 피해립 0.11~0.13%범위, 착색립 0.00~0.02%범위로 정립 및 싸라기와 달리 등급별로 차이는 미비하였다. 불량립 중 피해립의 오차율은 분상질립과 착색립에 비해 다소 크게 나타났다.

백미의 품위항목 중에서 검사요원간의 오차율이 높게 나타난 싸라기의 경우 품위측정기준이 완전한 낱알 평균길이의 3/4미만의 깨진 낱알로서 주로 육안에 의해 크기를 기준으로 판별하므로 검사요원간의 오차가 크게 나타난 것으로 판단되었다. 또한, 정립도 주로 크기를 기준으로 판별하므로 싸라기의 오차율은 정립에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

피해립 또한 육안에 의한 판별에는 다소 오차가 발생할 수 있으며, 백미비율 중 평균 2.2%(한국식품연구원, 2004)에 불과하여 1립에 대한 중량비율도 매우 커 오차율이 다소 높은 것으로 판단되었다.

표 3-2-17. 포장등급규격 “특”등급에서 검사요원간의 품위측정 오차율

| 구분  | 정립(%) | 싸라기(%) | 불량립(%) |      |      |      |
|-----|-------|--------|--------|------|------|------|
|     |       |        | 계      | 분상질립 | 피해립  | 열손립  |
| A   | 94.34 | 3.22   | 2.44   | 1.62 | 0.81 | 0.02 |
| B   | 94.52 | 3.28   | 2.20   | 1.61 | 0.57 | 0.02 |
| C   | 94.60 | 3.27   | 2.13   | 1.61 | 0.52 | 0.00 |
| D   | 94.63 | 3.29   | 2.08   | 1.52 | 0.55 | 0.01 |
| E   | 94.60 | 3.02   | 2.38   | 1.57 | 0.81 | 0.00 |
| F   | 94.75 | 2.96   | 2.29   | 1.67 | 0.62 | 0.00 |
| 평균  | 94.57 | 3.17   | 2.25   | 1.60 | 0.65 | 0.01 |
| 오차율 | 0.14  | 0.15   | 0.14   | 0.05 | 0.13 | 0.01 |

표 3-2-18. 포장등급규격 “상”등급에서 검사요원간의 외형인자 판별 오차율

| 구분  | 정립(%) | 싸라기(%) | 불량립(%) |      |      |      |
|-----|-------|--------|--------|------|------|------|
|     |       |        | 계      | 분상질립 | 피해립  | 착색립  |
| A   | 88.68 | 5.90   | 5.41   | 4.03 | 1.31 | 0.08 |
| B   | 88.51 | 6.13   | 5.36   | 4.12 | 1.16 | 0.08 |
| C   | 88.87 | 5.90   | 5.23   | 3.95 | 1.20 | 0.08 |
| D   | 88.78 | 6.03   | 5.19   | 4.07 | 1.04 | 0.08 |
| E   | 88.57 | 5.95   | 5.48   | 4.07 | 1.33 | 0.08 |
| F   | 88.90 | 5.87   | 5.23   | 4.02 | 1.12 | 0.09 |
| 평균  | 88.72 | 5.96   | 5.32   | 4.04 | 1.19 | 0.08 |
| 오차율 | 0.16  | 0.10   | 0.12   | 0.06 | 0.11 | 0.00 |

표 3-2-19. 포장등급규격 “보통”등급에서 검사요원간의 외형인자 판별 오차율

| 구분  | 정립(%) | 싸라기(%) | 불량립(%) |      |      |      |
|-----|-------|--------|--------|------|------|------|
|     |       |        | 계      | 분상질립 | 피해립  | 착색립  |
| A   | 80.78 | 9.09   | 10.13  | 8.43 | 1.26 | 0.44 |
| B   | 80.26 | 9.52   | 10.21  | 8.26 | 1.55 | 0.40 |
| C   | 81.05 | 8.97   | 9.98   | 8.32 | 1.26 | 0.40 |
| D   | 80.37 | 9.38   | 10.26  | 8.38 | 1.47 | 0.40 |
| E   | 80.75 | 9.09   | 10.16  | 8.47 | 1.28 | 0.41 |
| F   | 80.96 | 8.90   | 10.14  | 8.43 | 1.28 | 0.43 |
| 평균  | 80.70 | 9.16   | 10.15  | 8.38 | 1.35 | 0.41 |
| 오차율 | 0.32  | 0.24   | 0.09   | 0.08 | 0.13 | 0.02 |

따라서, 검사요원간의 백미 품위측정 오차율(%)은 다음의 식 (3-2-1)과 같이 품위항목별 평균 오차율과 중량비율을 고려하여 계산(Kim 등, 2003)하였으며, 0.2%로 나타났다(표 3-2-20).

$$\begin{aligned} \text{품위측정 오차율} = & \text{정립 오차율} \times \text{중량비율} + \text{싸라기 오차율} \times \text{중량비율} \\ & + \text{분상질립(분상질립, 피해립, 열손립) 오차율} \times \text{중량비율} \\ & \dots\dots\dots (3-2-1) \end{aligned}$$

여기서, 정립 중량비율 : 78.6%  
 싸라기 중량비율 : 10.0%  
 분상질립 중량비율 : 7.7%  
 피해립 중량비율 : 3.5%  
 열손립 중량비율 : 0.2%

표 3-2-20. 검사요원간의 품위측정 오차율

|           | 전체  | 정립   | 싸라기  | 분상질립 | 피해립  | 열손립  |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|
| 평균 오차율(%) | 0.2 | 0.21 | 0.16 | 0.06 | 0.12 | 0.01 |

(나) 시스템의 외형인자 판별율

현미 및 포장등급규격 “특”, “상”, “보통”의 3등급에서 시스템 및 검사요원에 의한 육안 판별 비교는 다음의 표 3-2-21 및 그림 3-2-23~3-2-24와 같다.

현미의 경우 시스템과 육안에 의한 판별 오차는 정립은 3.0%, 미숙립은 3.8%, 피해립 0.8%, 동할립 0.2%, 열손립 0.2% 수준으로 나타났다. 동할립과 열손립의 오차는 미비한 수준이었지만, 미숙립의 오차는 다소 크게 나타났다. 미숙립의 경우는 주로 칼라인자로 판별하는 외형인자로서 미숙립의 오차는 정립에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 칼라인자에 의한 판별을 향상시키기 위해서는 CCD카메라 등의 성능 즉, 해상도와 직접 관계가 있으므로, 이를 향상시키기 위해서는 CCD카메라의 해상도를 높이는데 수반되는 영상처리의 속도 문제와 가격상승 등 제반사항을 종합적으로 고려하는 것이 필요하였다.

포장등급규격 “특”에서 시스템과 검사요원에 의한 육안 판별의 차이는 정상립 0.7%, 찌라기 0.3%, 분상질립 0.4%, 피해립 0.6% 수준으로서 만족한 수준이었다. 포장등급규격 “상” 및 “보통”에서 시스템과 검사요원에 의한 육안 판별 오차는 정상립의 경우 1.0% 및 2.4%, 찌라기는 0.6% 및 1.4%, 분상질립은 0.8%, 피해립은 0.8% 및 1.2%, 열손립은 0.4% 및 0.6% 수준으로, 포장등급규격이 낮을수록 오차는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 쌀의 외형품위가 낮을수록 판별 오차는 증가하는 경향이였다.

따라서, 시스템과 검사요원에 의한 육안 판별 평균 오차는 정상립 1.37%, 찌라기 0.77%, 분상질립 0.67%, 피해립 0.87%, 열손립 0.07% 수준으로, 앞에서 제시한 오차율 계산식에 의해 평균 1.23%로 나타났다. 따라서, 검사요원에 의한 육안 오차율은 0.2%로서 시스템의 오차율 1.23%와 약 1%로서 RPC 등 생산현장에서 품위분석을 위한 시스템으로 적용이 가능할 것으로 판단되었다.



표 3-2-21. 시스템 및 검사요원에 의한 육안 판별 비교(현미)

| 구분  | 정립(%) | 비정상립(%) |      |      |     |     |
|-----|-------|---------|------|------|-----|-----|
|     |       | 계       | 미숙립  | 피해립  | 동할립 | 열손립 |
| 시스템 | 69.8  | 30.2    | 15.6 | 10.2 | 3.2 | 1.2 |
| 육안  | 66.8  | 33.2    | 19.4 | 9.4  | 3.4 | 1.0 |
| 차이  | 3.0   | 3.0     | 3.8  | 0.8  | 0.2 | 0.2 |

표 3-2-22. 시스템 및 검사요원에 의한 육안 판별 비교(포장등급규격 “특”)

| 구분  | 정상립(%) | 싸라기(%) | 불량립(%) |      |     |     |
|-----|--------|--------|--------|------|-----|-----|
|     |        |        | 계      | 분상질립 | 피해립 | 열손립 |
| 시스템 | 93.1   | 3.1    | 3.8    | 2.4  | 1.4 | 0   |
| 육안  | 93.8   | 3.4    | 2.8    | 2.0  | 0.8 | 0   |
| 차이  | 0.7    | 0.3    | 1.0    | 0.4  | 0.6 | 0   |

표 3-2-23. 시스템 및 검사요원에 의한 육안 판별 비교(포장등급규격 “상”)

| 구분  | 정상립 (%) | 짜라기 (%) | 불량립 (%) |      |     |     |
|-----|---------|---------|---------|------|-----|-----|
|     |         |         | 계       | 분상질립 | 피해립 | 열손립 |
| 시스템 | 87.4    | 5.6     | 7       | 3.8  | 2.2 | 1.0 |
| 육안  | 88.4    | 5.0     | 6.6     | 3.0  | 3.0 | 0.6 |
| 차이  | 1.0     | 0.6     | 0.4     | 0.8  | 0.8 | 0.4 |

표 3-2-24. 시스템 및 검사요원에 의한 육안 판별 비교(포장등급규격 “보통”)

| 구분  | 정립 (%) | 짜라기 (%) | 불량립 (%) |      |     |     |
|-----|--------|---------|---------|------|-----|-----|
|     |        |         | 계       | 분상질립 | 피해립 | 열손립 |
| 시스템 | 77.6   | 10.2    | 12.2    | 6.4  | 3.8 | 2   |
| 육안  | 80     | 8.8     | 11.2    | 7.2  | 2.6 | 1.4 |
| 차이  | 2.4    | 1.4     | 1       | 0.8  | 1.2 | 0.6 |

### 제 3 절 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분인자 측정 시스템 개발

#### 1. 쌀의 주요 성분인자 및 측정

쌀의 주요 성분은 탄수화물(carbohydrate)이 가장 많이 함유되어 있으며 또한, 단백질, 지방, 회분 및 비타민 등으로 구성되어 있다. 완전히 건조된 쌀은 약 90%의 전분과 6~8%의 단백질, 1%내외의 지방 및 무기질로 구성된다. 단백질의 함량은 지역 및 품종에 따라 다르지만 국내 쌀의 경우 현미는 6~10%, 백미는 5~9%정도가 함유되어 있는데, 단백질의 함량이 높으면 전분이 물을 흡수하는 것을 어렵게 하여 호화가 억제되어 밥의 끈기가 저하되므로 단백질 함량은 품질의 중요한 인자이다. 전분은 아밀로스과 아밀로펙틴으로 구성되어 있는데, 아밀로스 함량은 약 15~35%로서, 전분의 성질은 밥의 끈기와 관련이 있어 품질과 밀접한 관계가 있다. 건물 100g 중의 유리지방산도를 중화시키는데 필요한 수산화칼륨의 mg수로 나타나는 지방산가는 저장상태의 중요한 지표로써, 20이상이면 품질의 저하가 발생한 것으로 간주할 수 있다(Ishibashi 등, 1971; Kim, 1999).

아밀로스는 일반적으로 요오드 정색법이 주로 이용되고 있으며, 최근에는 Juliano(1971)가 제안한 자동 분석법을 이용한 장치가 개발되어 보급되고 있다. 아밀로스 함량을 측정하기 위해서는 우선적으로 표준 물질을 이용하여 기준값을 설정해야 한다. 일반적으로 기준값에 사용되는 물질은 감자의 아밀로스가 이용되고 있다. 현재까지 개발된 아밀로스 함량 측정방법은 표준물질과 실험자의 주관 등에 따라 많은 영향을 미치고 있어 측정치의 정확성이 부정확하여 표준측정방법이 정립되지 않은 실정이다.

곡물은 저장중 성분중에서 지방이 분해하여 유리지방산이 증가한다. 유리지방산도는 저장산도의 양부를 나타내는 지표이며, 지방산도는 건물 100g을 중화하는데 필요한 KOH의 mL수를 나타내는 것이다. 일반적으로 지방산도는 어느 성분보다도 저장 중에 산화되어 변화되기 쉽고, 효소의

작용에 의해 분해되어 쌀의 고미화에 크게 영향을 주는 중요한 품질인자이다. 곡류의 입자나 가루를 이용하여 지방함량을 측정하는 방법에는 Soxhlet을 이용한 에테르추출법, 산분해법 등이 있다. 에테르추출법에 의한 지방의 정량은 시료를 100mesh 이상으로 분쇄해야 하며, 일부 지방성분은 추출이 불가능한 경우도 있다. 산분해법은 분쇄정도에 무관하며 전지질이 추출되므로 일반성분으로서 전지질 정량이 가능하지만 시료중의 지질 구성 성분 조사에 사용하기에는 부적합 방법으로 알려져 있다. 근적외선 분광분석법으로 지방산도 예측모델을 개발할 때 주로 분말시료를 이용하여 스펙트럼을 측정하였다. 그러나 夏架 등(1992)은 지방산도의 변화가 주로 현미의 당층이나 백미 표면에 부착된 당에 의해서 발생하므로 입자를 분쇄하면 당이 배유와 혼합되어 지방산도의 변화에 따른 스펙트럼의 변화가 상쇄되는 것이 가장 큰 원인으로 분석하였다.

단백질은 탄소, 수소 및 일정량의 비율로 질소를 함유하고 있다. 특히 질소는 지방이나 탄수화물 등의 성분에는 포함되어 있지 않으므로 단백질 정량은 전 질소량을 정량하고 그 값에 일정계수를 곱하여 단백질 함량으로 환산한다. 전 질소정량법으로는 Kjeldahl법이 가장 널리 사용되고 있다. 근적외선을 이용한 단백질 함량 예측에 관한 연구는 보리, 밀 및 콩 등 매우 다양하게 적용되어 왔으며, 단백질 함량에 이용되는 파장은 주로 2100~2200nm 영역이며, 특히 밀의 경우 2180nm로 보고되고 있다.

20℃의 순수한 물의 근적외선 흡수 스펙트럼은 760, 970, 1190, 1450 및 1940nm의 5개 파장인 것으로 알려져 있다. 그러나, 이런 파장들을 이용하여 다중회귀분석법으로 함수율 측정에 필요한 파장을 분석하면 이들 파장에서만 특정 피크가 발생하는 것은 아니다. 대부분의 경우 시료 내부에 존재하는 다른 성분들에 의하여 피크가 좌우로 이동되기도 하며, 오차를 보정하기 위하여 수분과 관계가 없는 다른 파장을 함수율 측정에 필요한 파장으로 나타나기도 한다. Li 등(1995)은 이러한 영향을 제거하기 위하여 전체 또는 일부 파장영역의 스펙트럼을 이용하여 예측모델을 개발하는 것이 필요하다고 보고하였다.

## 2. 근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 성분인자 모델 개발

### 가. 재료 및 방법

현미 및 백미 성분인자의 스펙트럼을 획득하기 위하여 지역 및 품종 별 39개 시료를 벼 상태로 수집하였다(표 3-3-1). 벼를 시험용현미기(Satake, Japan)로 탈부하여 현미를 제조한 후 색채선별기(ACS-12, A-Mecs, Korea)에 통과시켜 사미, 미숙립, 피해립 및 열손립 등 비정상립을 제거한 후 정립 현미를 시료로 공시하였다. 또한, 시험용 마찰식정미기(VP-32T, Yamamoto, Japan)로 백도 약 40으로 도정한 후 흡선별기 및 색채선별기로 불량립을 제거한 후 정상립을 백미 시료로 공시하였다.

쌀의 성분인자는 함수율, 단백질, 아밀로스, 지방산가를 기준으로 하여 A.A.C.C(1983) 방법 등에 준하여 이화학적방법으로 분석하여 기준값을 측정하였다. 함수율은 10g 곡립을 135℃의 온도에서 24시간 건조하는 10g 곡립-135℃-24시간 측정법으로 측정하여 5g분쇄-105℃-5시간 표준측정법으로 환산하였다. 함수율은 3회 반복 측정하였으며, 환산식은 다음과 같았다.

$$\text{현미 } M_{105} = 100 - 1.0122 (100 - M_{135})$$

$$\text{백미 } M_{105} = 100 - 1.0133 (100 - M_{135})$$

여기서,  $M_{105}$  : 105℃ 건조법에 의한 함수율(%w.b)

$M_{135}$  : 135℃ 건조법에 의한 함수율(%w.b)

단백질은 Kjeldahl법, 아밀로스는 Juliano(1971)에 의한 비색법으로 측정하였다. 지방산가는 용매 petroleum ether를 사용하여 soxhlet 방법으로 추출하여 BAP(Benzene Alcohol Phenolphthalen)용액으로 적정하여 측정하였으며, 주요 측정방법은 다음과 같다.

시료를 Juliano(1971)방법에 의하여 아밀로오즈 함량을 측정하였다. 5

0℃에서 24시간 방치한 rice flour를 0.1g 취한 다음 95% EtOH 1ml와 1N NaOH 9ml을 취한 후 10분간 증탕 가열하였다. 이를 식힌 다음 100ml로 정용하고 다시 5ml을 취하여 1N Acetic acid 1ml과(0.2%) Iodine 2ml을 넣어 ws 후 100ml로 정용하고 20분간 방치한 후 620nm에서 흡광도를 3회 반복 측정하여 평균치를 구하였다.

단백질 측정은 분석시료를 분석 전 시료분쇄기로 분쇄하여 분말 시료 1.0g을 이용하였다. 분해튜브에 시료, 촉매제 2정, 진한황산 12ml를 차례로 넣는다. 분해기가 420℃까지 예열된 상태에서 분해튜브를 stand를 이용 분해기에 장착하고 약 1시간 분해한다. 분해가 완료되면 분해튜브를 자동 증류, 적정장치로 옮겨 증류 및 적정하여 조단백질(wet weight basis)을 계산한다. 단백질 분석시료에 대해 다음과 같이 수분함량을 측정한다. Grain Crusher로 백미를 분쇄하여 10g을 칭량하여 105 ℃ 건조기에 넣어 유리수분을 전부 건조한 후 수분함량을 측정하여 수분치를 건물중(dry weight basis)으로 환산하여 보정한다. 환산한 건물중(dry weight basis) 값을 15% 수분보정 값으로 환산한다.

$$\text{조단백질(\%)} = \frac{(V-V_0) \times F \times 0.0014 \times D \times N}{S} \times 100$$

여기서

V : 본시험에 대한 0.1N-HCl용액의 적정 소비량 (ml)

V<sub>0</sub> : 공시험에 대한 0.1N-HCl용액의 적정 소비량 (ml)

F : 0.1N - HCl 표준용액의 factor

N : 질소환산계수 (쌀의 질소계수 : 5.95)

D : 희석배수

S : 시료채취량 (g)

지방산가는 시료 40g 이상을 분쇄기(1093, Tecater, Sweden)로 분말을 만들어 체에 친 후 10g을 원통여지에 담은 후 탈지면으로 가볍게 충전하고, soxhlet 추출 장치에서 용매 pet. ether를 이용하여 흡습(siphoning) 속도(3분당 1회)와 끓는점 범위(30~60°C)를 맞추어 16시간 동안 추출하였다.

추출된 용액은 회전감압농축기를 이용하여 지방성분만을 취한 후 0.02% BAP (Benzene Alcohol Phenolphthalen) 용액 50ml로 재용해시킨 후 표준색인 분홍색이 될 때까지 0.0178N KOH로 적정하였다. 위에서 얻어진 결과를 이용하여 다음의 식에 의해 지방산도로 환산하였다.

$$F.A = \frac{(T-B) \times 10}{100 - W} \times 100$$

여기서, *F. A*: fat acidity (mg KOH/100g)

*T*: 시료 적정시 0.0017N KOH의 요구량

*B*: 공시험 적정시 0.0017N KOH의 요구량

다음의 표 3-3-2는 공시재료에 대한 함수율, 단백질, 아밀로스 및 지방산가의 측정결과이다.

표 3-3-1. NIR 스펙트럼 획득 실험에 사용한 공시시료

| 구분 | 지역    | 품종  | 구분 | 지역    | 품종  |
|----|-------|-----|----|-------|-----|
| 1  | 충남 서천 | 영안벼 | 21 | 경남 창녕 | 운광  |
| 2  | 충남 예산 | 주남  | 22 | 경기 여주 | 추청  |
| 3  | 충남 부여 | 삼강  | 23 | 경기 이천 | 추청  |
| 4  | 충남 천안 | 추청  | 24 | 경북 칠곡 | 고품  |
| 5  | 강원 영월 | 수라  | 25 | 강원 양양 | 오대  |
| 6  | 충북 청원 | 추청  | 26 | 강원 원주 | 추청  |
| 7  | 충북 증평 | 추청  | 27 | 전남 장성 | 평안  |
| 8  | 충북 괴산 | 추청  | 28 | 전북 군산 | 신동진 |
| 9  | 충북 진천 | 추청  | 29 | 전북 정읍 | 일미  |
| 10 | 충북 음성 | 추청  | 30 | 전북 김제 | 신동진 |
| 11 | 경북 김천 | 추청  | 31 | 전북 전주 | 신동진 |
| 12 | 충남 서산 | 주남  | 32 | 강원 홍천 | 대안  |
| 13 | 경기 김포 | 추청  | 33 | 전북 부안 | 추청벼 |
| 14 | 전남 보성 | 호평  | 34 | 충북 보은 | 추청  |
| 15 | 경북 영천 | 새추청 | 35 | 전남 나주 | 운광  |
| 16 | 경북 구미 | 추청  | 36 | 경북 군위 | 일품  |
| 17 | 전남 영광 | 일미  | 37 | 전남 순천 | 일미  |
| 18 | 강원 인제 | 오대  | 38 | 경기 안성 | 추청  |
| 19 | 경남 고성 | 풍미  | 39 | 경기 화성 | 추청  |
| 20 | 경남 거창 | 고품  |    |       |     |



표 3-3-2. 공시시료의 성분분석(이화학적 방법) 결과

| 구분 | 단백질 (%) | 아밀로스 (%) | 함수율 (%w.b.) | 구분 | 단백질 (%) | 아밀로스 (%) | 함수율 (%w.b.) |
|----|---------|----------|-------------|----|---------|----------|-------------|
| 1  | 5.2     | 18.6     | 14.3        | 21 | 5.4     | 18.8     | 15.0        |
| 2  | 5.9     | 20.0     | 14.5        | 22 | 5.5     | 18.8     | 14.5        |
| 3  | 6.3     | 17.6     | 13.8        | 23 | 6.0     | 19.6     | 14.2        |
| 4  | 5.8     | 19.9     | 13.3        | 24 | 5.6     | 19.0     | 14.4        |
| 5  | 6.5     | 18.4     | 12.5        | 25 | 6.7     | 18.0     | 13.5        |
| 6  | 5.7     | 18.9     | 12.6        | 26 | 5.7     | 18.4     | 14.6        |
| 7  | 5.7     | 20.4     | 14.4        | 27 | 5.8     | 18.9     | 15.6        |
| 8  | 5.9     | 18.8     | 16.1        | 28 | 6.1     | 16.2     | 13.9        |
| 9  | 5.6     | 18.7     | 13.4        | 29 | 5.3     | 19.4     | 16.1        |
| 10 | 5.3     | 18.7     | 15.1        | 30 | 5.9     | 19.7     | 16.9        |
| 11 | 6.3     | 16.0     | 14.2        | 31 | 5.8     | 16.8     | 13.8        |
| 12 | 6.3     | 17.4     | 13.0        | 32 | 7.0     | 18.2     | 13.7        |
| 13 | 6.1     | 18.0     | 15.2        | 33 | 5.1     | 20.2     | 15.9        |
| 14 | 5.5     | 18.7     | 14.1        | 34 | 6.3     | 20.3     | 13.2        |
| 15 | 5.6     | 17.8     | 15.1        | 35 | 5.9     | 18.0     | 13.4        |
| 16 | 6.0     | 19.3     | 13.9        | 36 | 5.3     | 18.1     | 14.4        |
| 17 | 5.8     | 18.0     | 14.3        | 37 | 6.7     | 18.8     | 15.1        |
| 18 | 6.1     | 18.6     | 14.1        | 38 | 5.8     | 19.6     | 14.9        |
| 19 | 5.8     | 18.5     | 12.9        | 39 | 5.7     | 18.0     | 14.7        |
| 20 | 6.1     | 18.2     | 19.0        |    |         |          |             |

NIR 스펙트럼을 획득하기 위하여 NIR(Model6500, NIRSystems Inc, USA)을 이용하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼 400nm~2500nm의 파장범위에서 2nm 간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정하였으며, 400~1,100nm에는 Si센서, 1,100~2,400nm에는 Pbs센서를 사용하였다. 시료셀은 직경 50mm, 높이 11mm으로서 약 12g의 시료를 충전하였고, 시료에 광선을 32회 주사(scan)하여 측정한 후 평균한 스펙트럼은 흡광도( $\log(1/R)$ )로 변환하여 PC에 저장하였다. 각각의 시료는 10회 반복 측정하였다.

성분인자에 따른 스펙트럼을 분석하기 위하여 상용프로그램인 unscrambler(ver 7.0, Camo co., USA)로 다중회귀분석법(Multiple linear regression, MLR), 부분최소자승법(Partial least square, PLS)을 이용하였다. 흡광도로 표시된 스펙트럼과 그에 해당하는 백도값을 입력하고 파장범위, 수학적 처리 및 전처리방법을 설정하여 결정계수, 교정부 오차 등으로 분석하였다.

그림 3-3-1은 공시재료 39점에 대한 원시 스펙트럼을 나타낸 것이다.

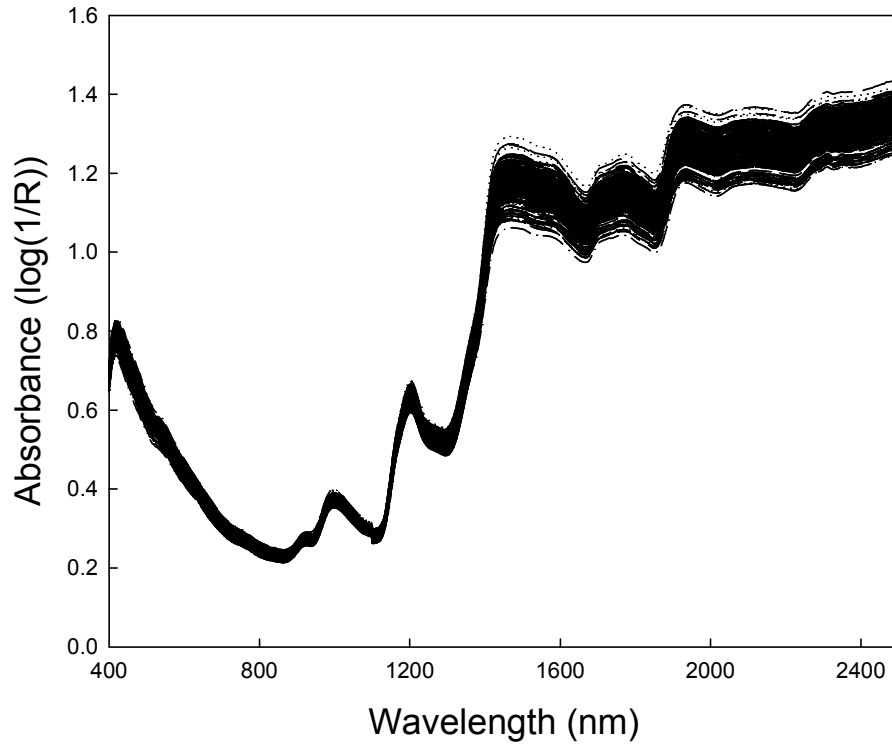


그림 3-3-1. 공시시료(39점) 현미의 흡광도 원시스펙트럼

## 나. 모델검증

### 1) 함수율 모델

반사 스펙트럼의 흡광도를 이용한 함수율의 PLS 모델의 개발 및 검증 결과는 다음의 표 3-3-3과 같다. 원시 스펙트럼의 흡광도에서 400~2500nm의 전파장 영역에서 PLS 분석을 한 결과 높은 상관관계를 나타내었다. 가시광선영역인 400~800nm에서의 결정계수는 0.86으로 가장 낮게 나타났지만, 400~1100nm에서의 결정계수는 0.97로 만족한 수준이었다. 따라서, 400~1100nm영역에서 실용적으로 함수율 측정이 가능할 것으로 판단되었다.

표 3-3-3. PLS 모델의 개발 및 검증 결과

| Detector ranges | Wavelength (nm) | Calibration(n = 19) |                |      | Prediction(n = 19) |      |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|------|--------------------|------|
|                 |                 | PC                  | R <sup>2</sup> | SEC  | R <sup>2</sup>     | SEP  |
| VIS             | 400~800         | 5                   | 0.86           | 0.35 | 0.41               | 0.81 |
| VIS/NIR         | 400~1100        | 6                   | 0.97           | 0.16 | 0.83               | 0.43 |
| VIS/NIR         | 400~2500        | 8                   | 0.98           | 0.14 | 0.87               | 0.32 |
| VIS/NIR         | 1100~1700       | 5                   | 0.92           | 0.27 | 0.86               | 0.39 |
| VIS/NIR         | 1100~2200       | 4                   | 0.91           | 0.28 | 0.87               | 0.34 |
| VIS/NIR         | 1000~1300       | 3                   | 0.9            | 0.3  | 0.89               | 0.35 |
| VIS/NIR         | 1000~1400       | 3                   | 0.91           | 0.29 | 0.88               | 0.37 |
| VIS/NIR         | 1000~1500       | 5                   | 0.91           | 0.28 | 0.85               | 0.41 |
| VIS/NIR         | 1100~1500       | 5                   | 0.92           | 0.27 | 0.83               | 0.44 |

SEC : Standard error of validation

SEP : Standard error of prediction

## 2) 단백질 모델

반사 스펙트럼의 흡광도를 이용한 단백질의 PLS 모델의 개발 및 검증 결과는 다음의 표 3-3-4와 같다. 원시 스펙트럼의 흡광도에서 400~2500nm의 전과장 영역에서 PLS 분석을 한 결과 높은 상관관계를 나타내었다. 가시광선영역인 400~800nm 및 400~1100nm영역에서는 매우 낮게 나타났다. 전과장 영역뿐만 아니라 1100~1700, 1000~1300, 1000~1500nm영역에서의 결정계수도 0.99로 만족한 수준이었다.

표 3-3-4. PLS 모델의 개발 및 검증 결과

| Detector ranges | Wavelength (nm) | Calibration(n = 19) |                |       | Prediction(n = 19) |      |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|-------|--------------------|------|
|                 |                 | PC                  | R <sup>2</sup> | SEC   | R <sup>2</sup>     | SEP  |
| VIS             | 400~800         | 1                   | 0.08           | 0.39  | 0.05               | 0.46 |
| VIS/NIR         | 400~1100        | 1                   | 0.09           | 0.39  | 0.03               | 0.46 |
| VIS/NIR         | 400~2500        | 16                  | 0.99           | 0.004 | 0.33               | 0.51 |
| VIS/NIR         | 1100~1700       | 12                  | 0.99           | 0.03  | 0.24               | 0.35 |
| VIS/NIR         | 1100~2200       | 8                   | 0.88           | 0.14  | 0.56               | 0.26 |
| VIS/NIR         | 1000~1300       | 10                  | 0.99           | 0.03  | 0.72               | 0.22 |
| VIS/NIR         | 1000~1500       | 9                   | 0.99           | 0.04  | 0.39               | 0.65 |
| VIS/NIR         | 1100~1300       | 6                   | 0.97           | 0.07  | 0.78               | 0.2  |
| VIS/NIR         | 1100~1500       | 10                  | 0.98           | 0.05  | 0.42               | 0.31 |
| VIS/NIR         | 1200~1500       | 11                  | 0.99           | 0.05  | 0.84               | 0.18 |

SEC : Standard error of validation

SEP : Standard error of prediction

### 3) 아밀로스 모델

반사 스펙트럼의 흡광도를 이용한 아밀로스의 PLS 모델의 개발 및 검증 결과는 다음의 표 3-3-5와 같다. 원시 스펙트럼의 흡광도에서 400~2500nm의 전과장 영역과 400~800nm 및 400~1100nm영역에서 PLS 분석을 한 결과 낮은 상관관계를 나타내었다. 그러나, 1000~1200nm영역에서 결정계수는 0.99로 매우 낮게 나타났다.

표 3-3-5. PLS 모델의 개발 및 검증 결과

| Detector ranges | Wavelength (nm) | Calibration(n = 19) |                |      | Prediction(n = 19) |       |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|------|--------------------|-------|
|                 |                 | PC                  | R <sup>2</sup> | SEC  | R <sup>2</sup>     | SEP   |
| VIS             | 400~800         | 3                   | 0.62           | 0.65 | 0.32               | 1.49  |
| VIS/NIR         | 400~1100        | 4                   | 0.63           | 0.64 | 0.19               | 0.145 |
| VIS/NIR         | 400~2500        | 3                   | 0.67           | 0.69 | 0.15               | 1.07  |
| VIS/NIR         | 1100~1700       | 10                  | 0.99           | 0.15 | 0.61               | 0.65  |
| VIS/NIR         | 1100~2200       | 11                  | 0.99           | 0.01 | 0.71               | 0.52  |
| VIS/NIR         | 1100~2300       | 10                  | 0.98           | 0.16 | 0.56               | 0.67  |
| VIS/NIR         | 1000~1200       | 10                  | 0.99           | 0.13 | 0.86               | 0.38  |
| VIS/NIR         | 1000~1300       | 6                   | 0.94           | 0.25 | 0.64               | 0.6   |

SEC : Standard error of validation

SEP : Standard error of prediction

#### 4) 지방산가 모델

반사 스펙트럼의 흡광도를 이용한 지방산가의 PLS 모델의 개발 및 검증 결과는 다음의 표 3-3-6과 같다. 지방산가는 함수율, 단백질, 아밀로스에 비해 전체적으로 결정계수가 낮게 나타났다. 원시 스펙트럼의 흡광도에서 1100~1700nm영역에서 결정계수가 가장 높게 나타났다.

지방산가의 경우 표준측정법에서의 측정오차도 비교적 크게 나타나는 인자이며, 또한, 함수율, 외기온도 등에 따라 가장 빠르게 변화는 인자로서 이러한 원인에 의해 결정계수가 다소 낮은 것으로 판단된다.

표 3-3-6. PLS 모델의 개발 및 검증 결과

| Detector ranges | Wavelength (nm) | Calibration(n = 19) |                |      | Prediction(n = 19) |      |
|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|------|--------------------|------|
|                 |                 | PC                  | R <sup>2</sup> | SEC  | R <sup>2</sup>     | SEP  |
| VIS             | 400~800         | 2                   | 0.30           | 8.95 | 0.24               | 9.79 |
| VIS/NIR         | 400~1100        | 2                   | 0.31           | 8.94 | 0.22               | 8.45 |
| VIS/NIR         | 400~2500        | 3                   | 0.35           | 8.99 | 0.3                | 9.37 |
| VIS/NIR         | 1100~1700       | 8                   | 0.67           | 8.45 | 0.33               | 8.95 |
| VIS/NIR         | 1100~2200       | 7                   | 0.67           | 8.31 | 0.43               | 8.82 |
| VIS/NIR         | 1100~2300       | 8                   | 0.66           | 8.46 | 0.28               | 8.97 |
| VIS/NIR         | 1000~1200       | 8                   | 0.67           | 8.43 | 0.58               | 8.68 |
| VIS/NIR         | 1000~1300       | 7                   | 0.62           | 8.55 | 0.36               | 8.90 |

SEC : Standard error of validation

SEP : Standard error of prediction

## 다. 시스템 설계 · 제작 및 성능

### 1) 설계 및 제작

쌀의 성분인자 측정 시스템은 종합품질측정시스템과 연계할 수 있도록 기본 설계방향을 수립하였으며, 이를 위해 외형인자 측정시스템의 시료부, 이송부 등 주요 기구부와 연계하여 설계하였다.

측정기구부는 입사광의 각도 조절이 가능하도록 설계하였으며, 4개의 독립된 광 fiber 및 평활 렌즈를 사용하여 수광부의 면적을 증대하도록 설계하였다. 스펙트로메타의 수광부 중심과 정렬이 일치하고 조명 및 시료와의 거리를 가변적으로 조절이 가능하도록 설계하였다. 조명은 할로겐 light source를 이용하고 셔터를 이용하여 광 조사 및 차단조절이 제어되도록 하여 광량을 임의적으로 조절이 가능하도록 설계하였으며, 이때 파장대역은 400~2500nm로 하였다.

광 fiber는 4채널의 분배형 케이블을 하였으며, 스펙트로메타는 모델검증의 결과를 토대로 Ocean Optics사(USA)의 400~1100nm 및 900~1700nm 대역으로 integration time 및 averaging 회수 조절이 가능하고 회절격자(grating)방식으로 설계하였다(그림 3-3-4 및 3-3-5).

성분인자의 적정 측정기구부 뿐만 아니라 이를 분석하기 위한 프로그램의 설계가 매우 중요하다. 이는 기존의 상업용 프로그램의 경우 연구용(분석 또는 모델 개발 등) 등으로 사용이 가능하지만 실제 상용화되는 제품에서는 사용이 불가능하므로 용도에 적합한 측정 및 분석프로그램이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 그림 3-3-6~3-3-8과 같이 NIR 측정 및 분석 프로그램을 개발하였으며, 본 운영프로그램에는 다중회귀분석(MLR), 부분최소자승법(PLS) 및 신경회로망기법(ANN)이 가능하도록 개발하였다.



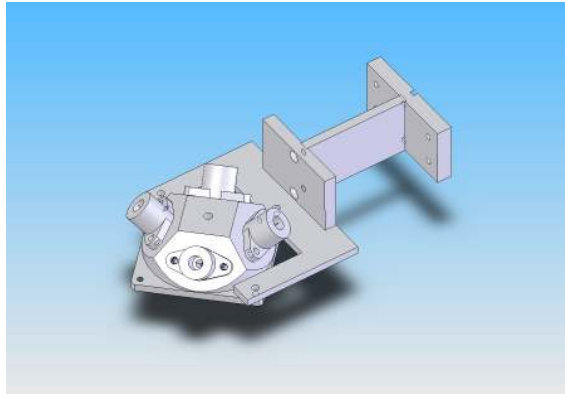


그림 3-3-2. 측정기구부 설계도

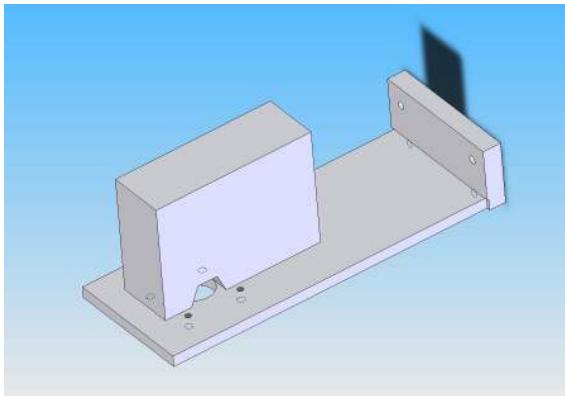


그림 3-3-3. 스펙트로메타 장치부 설계도

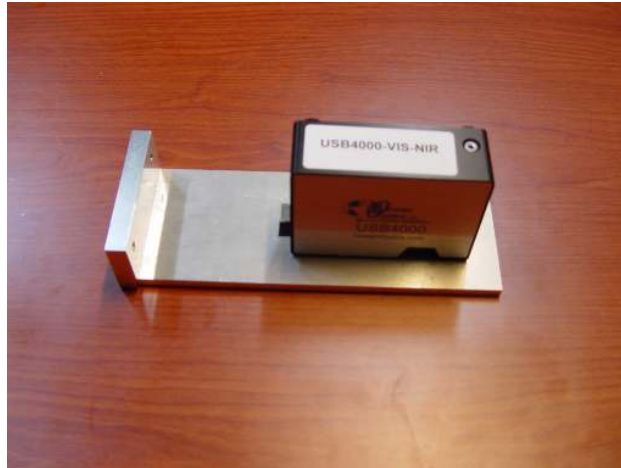


그림 3-3-4. 선정된 Spectrometer



그림 3-3-5. 광 Fiber 및 조명

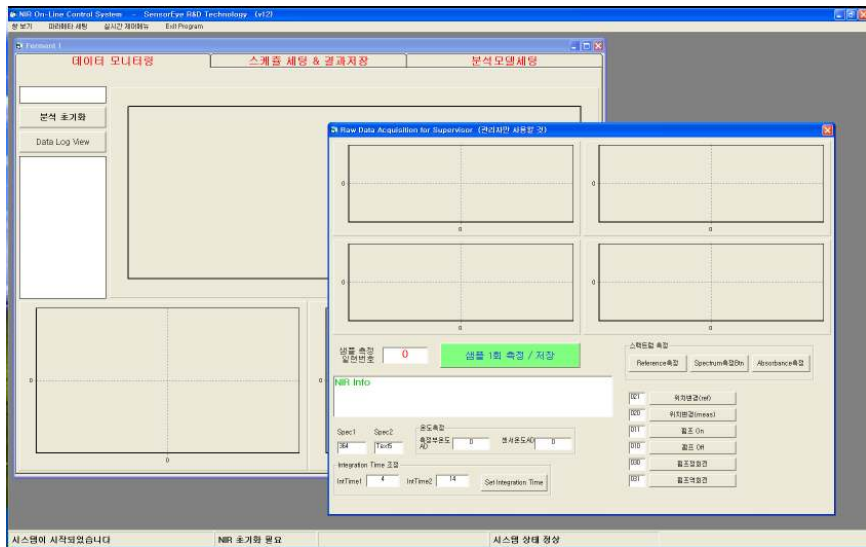


그림 3-3-6. 운영 프로그램 초기화면

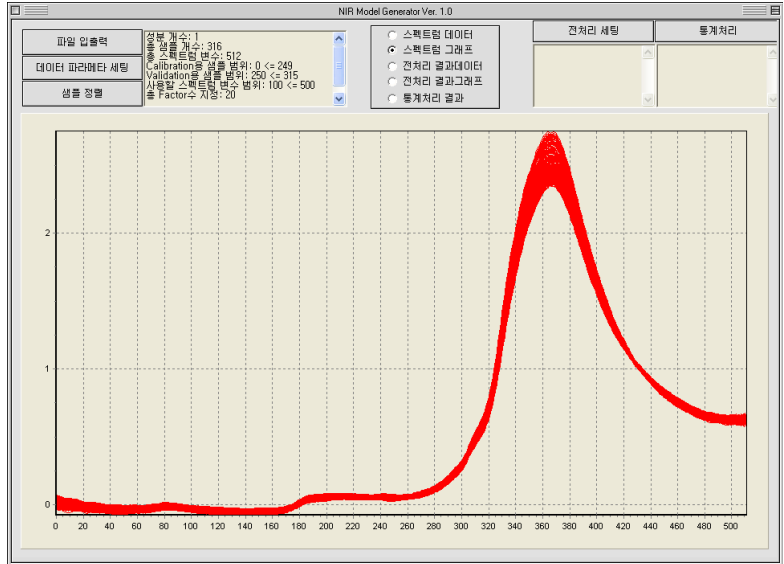


그림 3-3-7. 흡광도 스펙트럼 분석

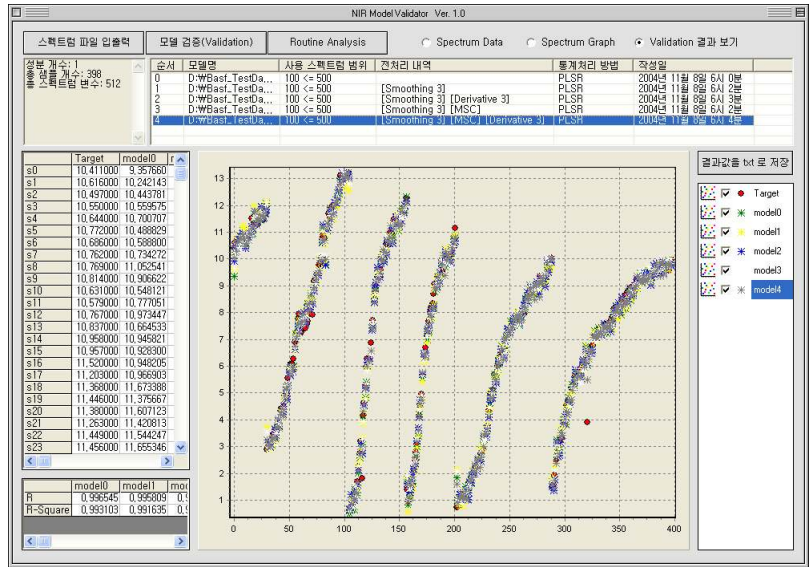


그림 3-3-8. 분석 및 모델개발 프로그램

## 2) 시스템의 성능

시스템에 설치되어 있는 스펙트로메타를 이용하여 모델검증에 이용한 시료 39점을 동시에 측정하였으며, 개발한 운영 및 분석프로그램을 이용하여 검증하였다. 그림 3-3-9~3-3-12는 함수율, 단백질, 아밀로스 및 지방산가의 실측치와 예측치를 비교한 것이다.

함수율, 단백질, 아밀로스 및 지방산가의 이화학적 방법에 의한 실측치와 스펙트로메타에 의한 예측치간의 결정계수는 0.850, 0.910, 0.927 및 0.724 수준으로 나타났다(표 3-3-8). 지방산가를 제외한 함수율, 단백질, 아밀로스의 결정계수는 비교적 만족한 수준으로 판단되었다.

앞에서 언급했듯이 지방산가의 경우 표준측정법에서의 측정오차도 비교적 크게 나타나는 인자이며, 또한, 함수율, 외기온도 등에 따라 가장 빠르게 변화는 인자로서 이러한 원인에 의해 결정계수가 다소 낮은 것으로 판단된다. 따라서, 시료의 양을 충분히 확보하고, 지방산가의 범위(8~30mL KOH/100g)를 조정하여 후 함수율을 14%(w.b.) 수준으로 조정하여 보완실험이 필요하다고 판단된다.

표 3-3-8. 모델의 개발 및 검증 결과

|                  | Model              | Determination coefficient | SEP   |
|------------------|--------------------|---------------------------|-------|
| Moisture content | $Y=1.6651+0.8811x$ | 0.850                     | 0.375 |
| Protein          | $Y=0.2811+0.9479x$ | 0.910                     | 0.125 |
| Amylose          | $Y=0.5107+0.9731x$ | 0.927                     | 0.282 |
| Fat acidity      | $Y=2.5703+0.8691x$ | 0.724                     | 1.122 |

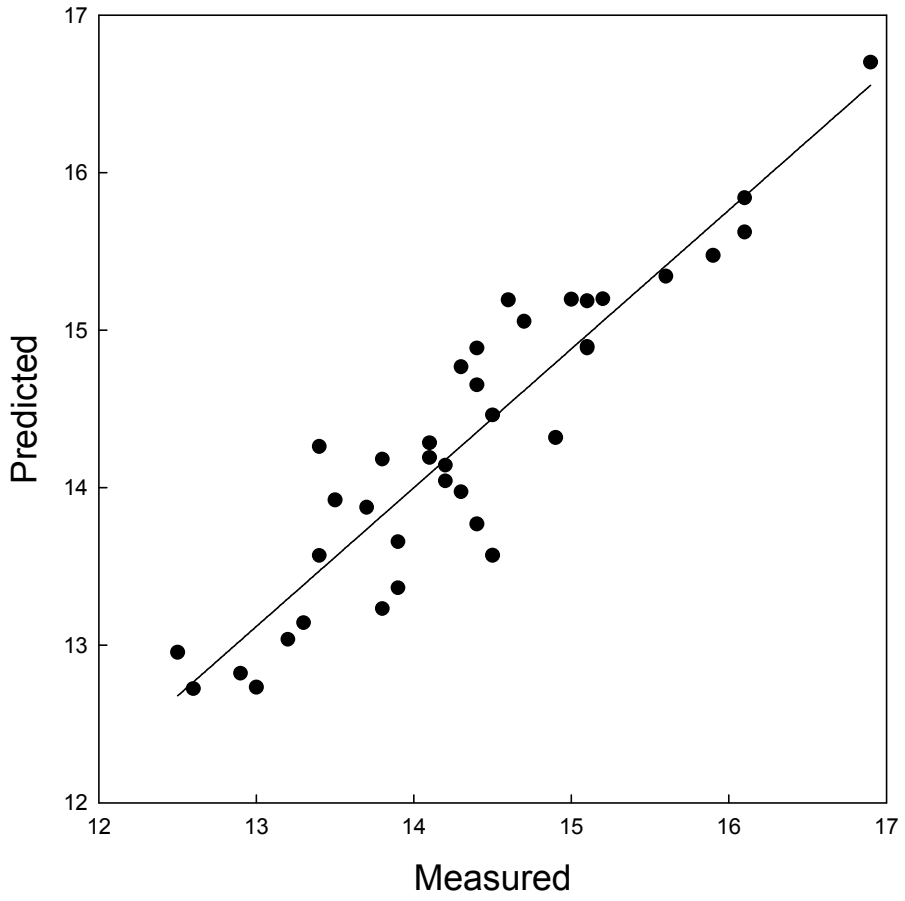


그림 3-3-9. 함수울의 실측치와 예측치의 비교

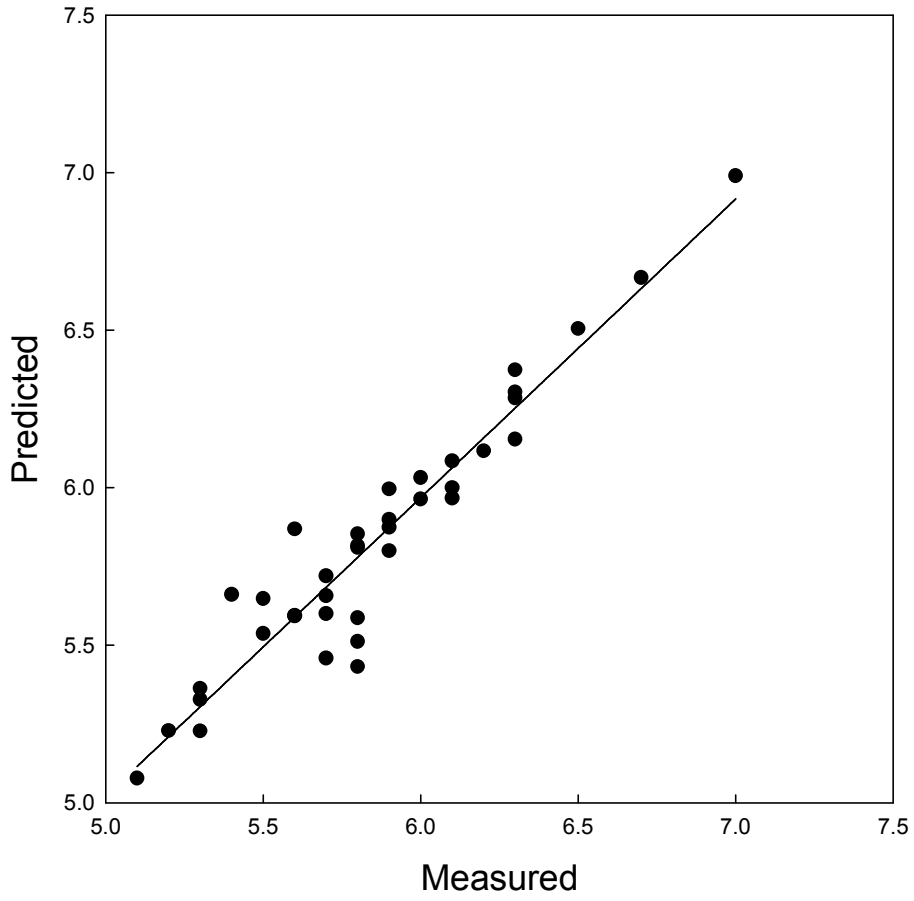


그림 3-3-10. 단백질의 실측치와 예측치의 비교

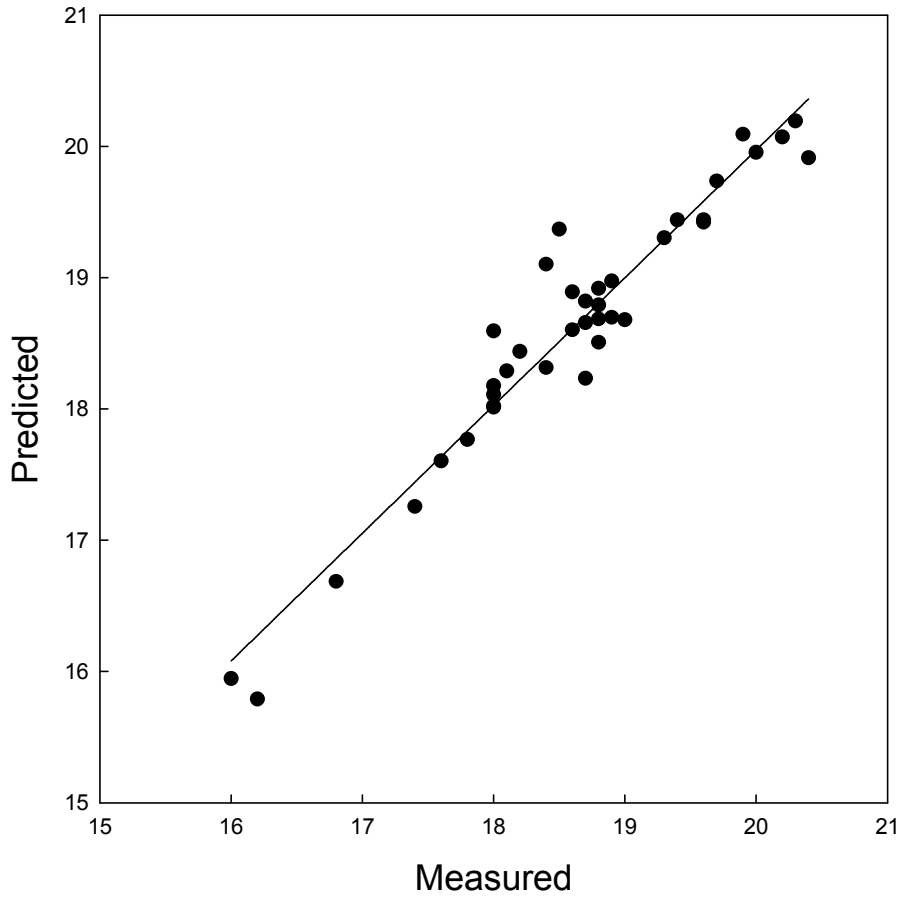


그림 3-3-11. 아밀로스의 실측치와 예측치의 비교



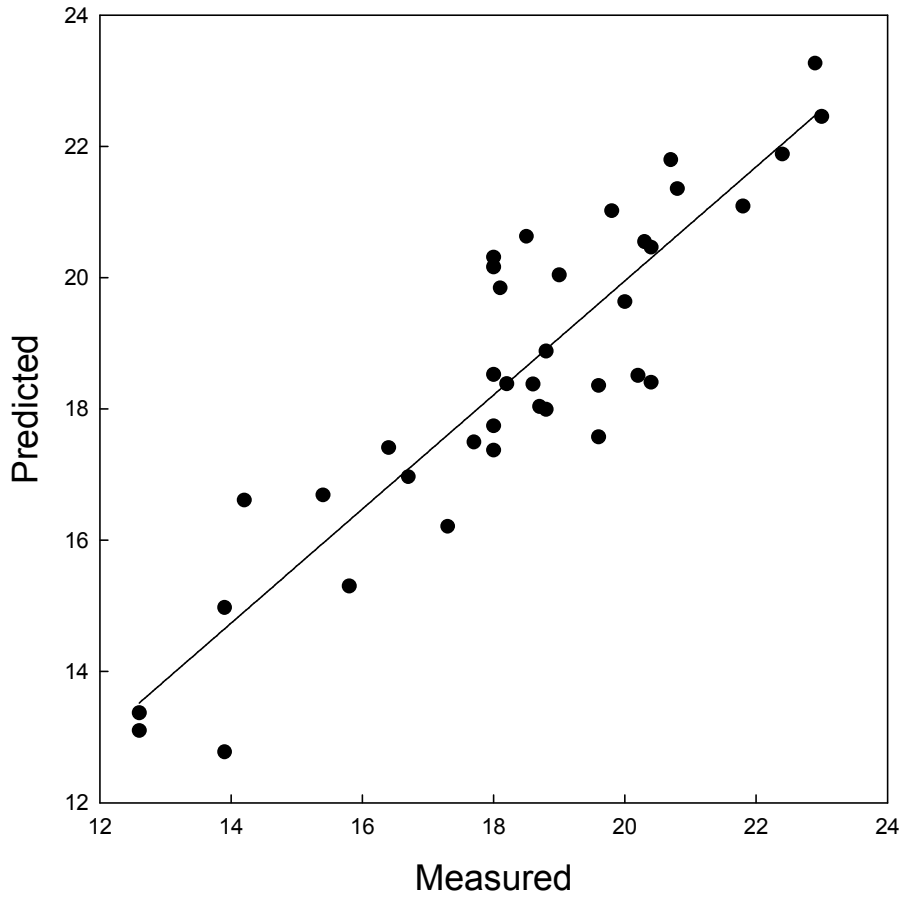


그림 3-3-12. 지방산가의 실측치와 예측치의 비교

## 제 4 절 외형 및 성분인자를 이용한 종합품질측정시스템 개발

### 1. 시스템의 개요

고품질 쌀은 낱알이 충실하고 이물이 없고 적당한 함수율과 강층을 완전히 제거한 투명도와 윤기가 뛰어나며, 고유 향미가 많은 좋은 쌀, 성분기준이 적정한 쌀로 정의할 수 있다(농림부, 국립농산물품질관리원, 농촌진흥청, 한국식품연구원, 농협중앙회 등).

2005년 8월 농림부는 소비자에게 쌀(백미)의 품질정보를 정확하게 제공하기 위해 쌀의 등급규격을 개정하였으며, 현미의 외형 품질과 관련하여 검사규격과 표준출하규격이 제정되어있다.

따라서, 국내쌀의 등급과 품질을 결정하는 주요인자는 외형 및 성분으로서, 투명도, 윤기(광택), 백도, 함수율, 성분(단백질, 아밀로스 등), 외형(정립, 싸라기, 피해립 등) 등으로 구분할 수 있으며, 이들 인자는 밥맛과의 상관관계도 매우 높다. Juliano 등(1965)은 단백질이 많은 쌀은 밥의 경도가 높고, 점착성이 떨어져 밥맛이 저하되며, 채제천 등(2004)은 수분, 단백질, 완전미율, 백도 등이 식미와 관계가 있고, 김상숙 등(2000)은 밥맛에 영향을 주는 여러 인자 중 백도의 상관관계( $R^2=0.194$ ) 높다고 보고하였다.

쌀의 품질 주요인자인 윤기, 투명도, 백도 측정기술과 신속하고 객관적인 외형과 성분인자 측정기술개발을 통하여 외형과 성분인자를 종합한 품질측정시스템을 개발하여 국내쌀의 고품질 생산 및 유통기반을 확립하고, 소비자의 신뢰성을 회복하는데 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

현재 국내에 보급되고 있는 쌀 품질관련 측정장치는 크게 함수율측정기, 백도측정기, 성분측정기(단백질, 아밀로스 등), 외형측정기(정립, 싸라기 등) 등으로 구분할 수 있으며, 함수율측정기를 제외하고는 국내제품은 전무한 실정으로 대부분 수입품에 의존하고 있는 실정이다. 이들 수입제품은 외형측정기 및 성분측정기로 크게 2개의 측정기로 구분할 수 있으며

대부분 고가로 수입되고 있다. 또한, 쌀의 품질을 측정하기 위해서는 2개의 측정기를 각각 따로 구입해야 하므로 가격부담은 더욱 가중되고 있다.

쌀의 윤기, 투명도는 예전부터 내려오던 우리나라 고유의 품질측정인자로서 외국에서도 측정기술의 기반이 미약한 실정이다.

따라서, 본 연구에서 쌀의 외형인자, 성분인자 및 광학적특성을 종합적으로 고려한 시스템을 기본방향으로 하여 종합품질측정시스템을 개발하였다. 종합품질측정시스템의 측정항목, 품질인자 및 측정원리는 다음의 표 3-4-1과 같다.

표 3-4-1. 측정항목 및 품질인자

| 측정항목 | 외형인자                                      | 성분인자                       | 광학적특성  |
|------|---|----------------------------|--|
| 품질인자 | 기하학적 특성<br>정립 및 비정상립(현미)<br>정상립 및 불량립(백미) | 합수율<br>단백질<br>아밀로스<br>지방산가 | 칼라특성<br>백도<br>윤기<br>투명도                      |
| 측정원리 | Machine vision                            | Spectrometer<br>(VIS/NIR)  | Machine vision/<br>Spectrometer<br>(VIS/NIR) |

## 2. 시스템의 구성

시스템의 구성시 기본적으로 동일 시스템에서 외관인자 및 성분인자의 측정이 가능하고, 단립 및 산물상태로 시료가 정렬이 될 수 있어야 하며, 동일한 제어장치에서 종합적으로 제어시스템으로 충족하도록 관련 기구부 및 이송기기류 등을 구성하였다.

제 2절, 제 3절 및 제 4절에서의 백도, 윤기, 투명도 측정장치, 외형인자 측정시스템 및 성분인자 측정시스템의 개발에서 연구결과를 충분히 고려하여 설계·제작하였다. 즉, 적정 조명선정 실험, 외형정보획득 등의 실험에서 선정된 조명을 고려하였고, 성분인자 검증에서 각 성능인자 별 파장영역 등을 고려하여 Spectrometer 및 주변기기를 설계·제작하였다.

또한, 백도, 윤기, 투명도 측정실험을 토대로 시료의 단립 또는 산물측정 기준을 정립하여 이를 설계에 반영하였다. 백도, 윤기, 투명도 측정장치, 외형인자 측정시스템 및 성분인자 측정시스템에서 설계·제작된 주요 기기류를 기본으로 하여 실험결과를 고려하여 종합품질측정시스템을 설계·제작하였다.

## 3. 시스템의 설계 및 제작

시스템은 외형인자 측정시스템과 성분인자 측정시스템을 기본으로 하여 크게 영상획득부, Spectrometer 처리부, 시료정렬부, X-Y-Z 이송부, 제어부 등으로 구성하였으며, 설계도 및 제작된 시스템은 다음의 그림 3-4-1 및 3-4-2와 같다. 전체 크기는 50×50×55cm(W×D×H)로서 CCD카메라 등 영상획득부를 효과적으로 구성하기 위해서 높이가 폭이나 넓이에 비해 다소 높게 제작되었다.

주요 측정장치인 영상획득부와 Spectrometer 처리부 등을 기준으로 시스템을 구성했을 때 정지상태에서 넓이(설계치)는 그림 3-4-3과 같이 전체 넓이에 비해 작은 수준(25cm)이나 제작되었으나, 시료정렬부 즉, 단립과 산물이 교차로 정렬(그림 3-4-4)되어야 하므로 전체 넓이는 이를 고려하여 설계·제작하였다.

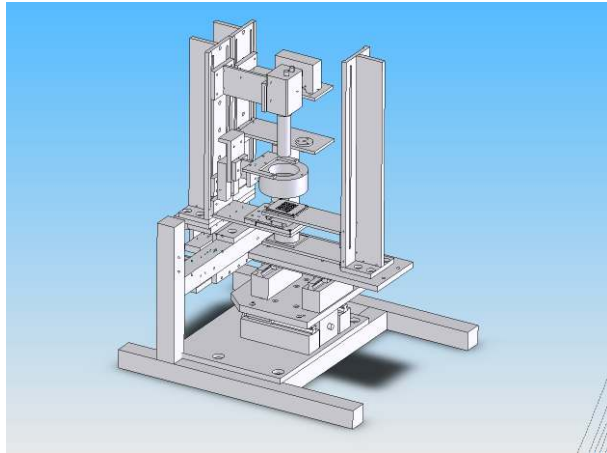


그림 3-4-1. 시스템 설계도(전면)

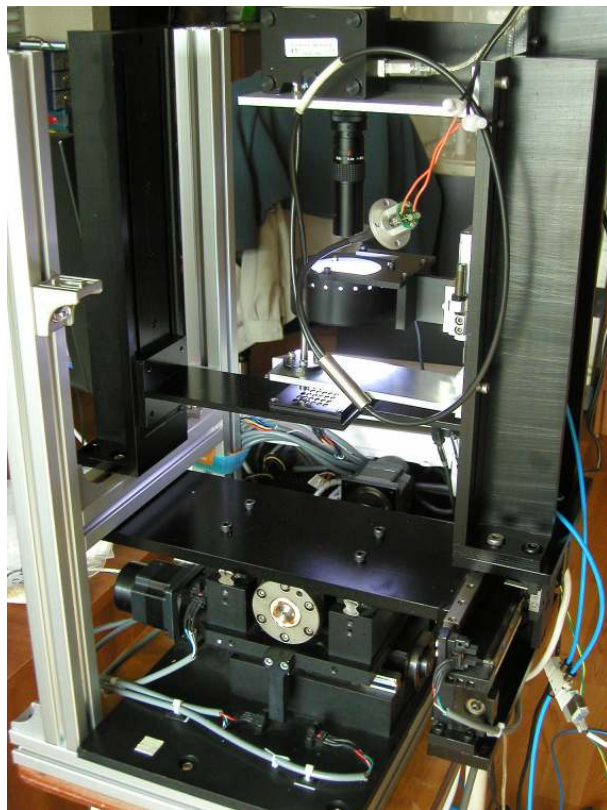


그림 3-4-2. 시스템 제작(전면)

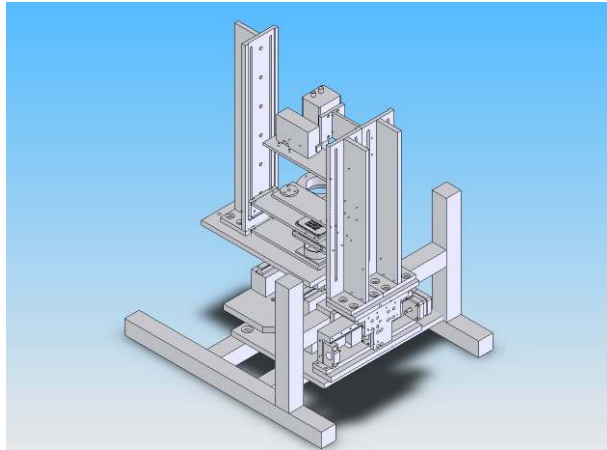


그림 3-4-3. 시스템 설계도(시료정지상태)

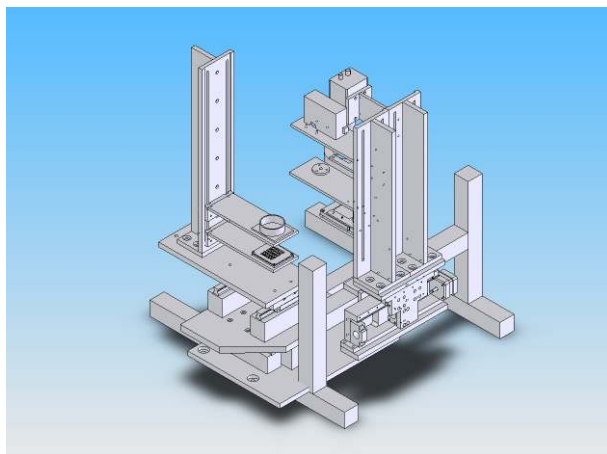


그림 3-4-4. 시스템 설계도(시료교차상태)

영상획득부는 그림 3-4-5와 같이 CCD카메라, 렌즈 및 조명장치 등으로 구성하였다. 렌즈는 75mm 렌즈( $f=8\text{mm}$ )를 사용하였으며, CCD 카메라는 Jai사의 칼라 3D용(CV-M70, Jai, Japan)으로 최대해상도는 659(H) $\times$ 494(V)이며, RS232로 원격제어가 가능하다. 조명은 외형인자 측정시스템에서는 동축, 링 및 백라이트 등 3종의 조명을 이용하였으나, 적정 조명선정 실험에서 링 및 백라이트 등 2종의 조명으로도 목적하는 영상획득이 가능하여 2종의 조명만 선택하였다. 2종의 조명과 조명의 위치를 제어하는 기구부로 구성하였고, 각각의 조명은 독립 또는 조합이 가능하도록 설계·제작하였다. 또한, 제어부와 연계하여 조명의 밝기를 임의대로 조정이 가능하도록 하였다.

Spectrometer 처리부는 입사광의 각도 조절이 가능하며, 4개의 독립된 광 fiber 및 평활 렌즈를 사용하여 수광부의 면적을 증대하도록 설계하였다. 조명은 할로겐 light source를 이용하고 셔터를 이용하여 광 조사 및 차단조절이 제어되도록 하여 광량을 임의적으로 조절이 가능하도록 설계하였으며, 이때 파장대역은 400~2500nm로 하였다. 광 fiber는 4채널의 분배형 케이블을 하였으며, Spectrometer 처리부 모델검증의 결과를 토대로 Ocean Optics사(USA)의 400~1100nm 및 900~1700nm 대역으로 integration time 및 averaging 회수 조절이 가능하고 회절격자(grating)방식으로 설계·제작하였다(그림 3-4-6).

영상처리부 및 Spectrometer 처리부가 병렬로 설치한 모습은 다음의 그림 3-4-7과 같다. 또한, 영상처리부에 구성된 Back light 및 Ring light와 기구부 설계도는 다음의 그림 3-4-8~그림 3-4-9와 같았으며, 설치된 모습은 그림 3-4-10에 나타내었다.

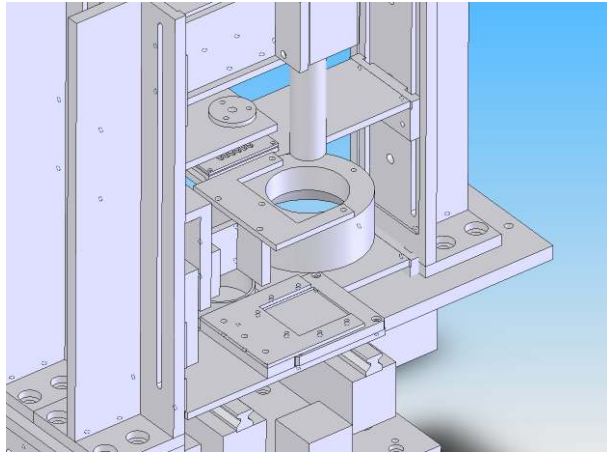


그림 3-4-5. 시스템 설계도(영상획득부)

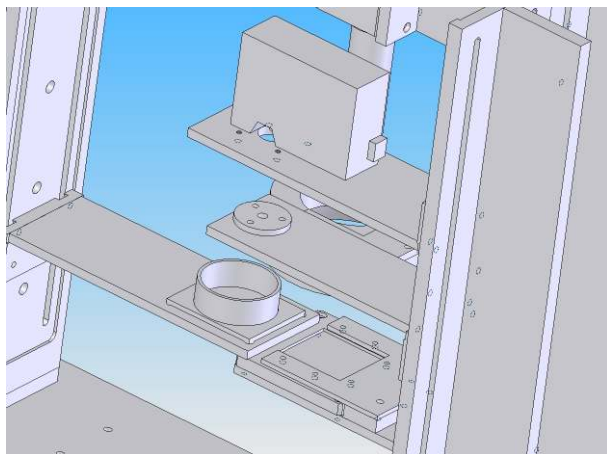


그림 3-4-6. 시스템 설계도(Spectrometer 처리부)





그림 3-4-7. 시스템 제작(영상획득부 및 Spectrometer 처리부)

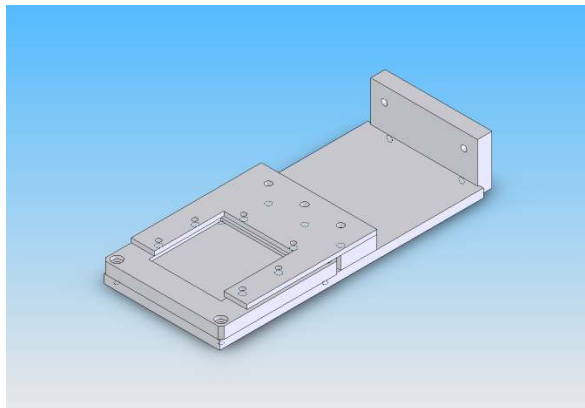


그림 3-4-8. 시스템 설계도(Back light/기구부)

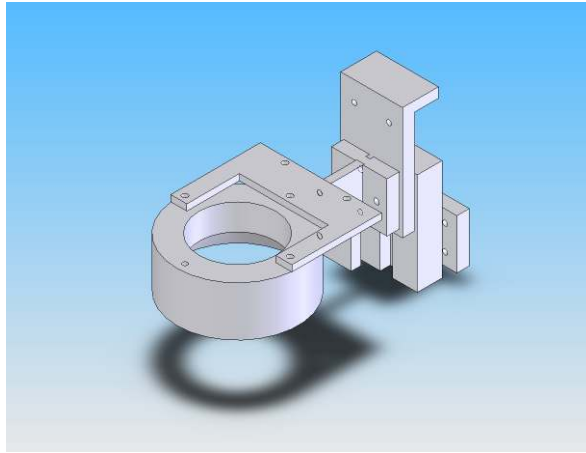


그림 3-4-9. 시스템 설계도(Ring light/기구부)

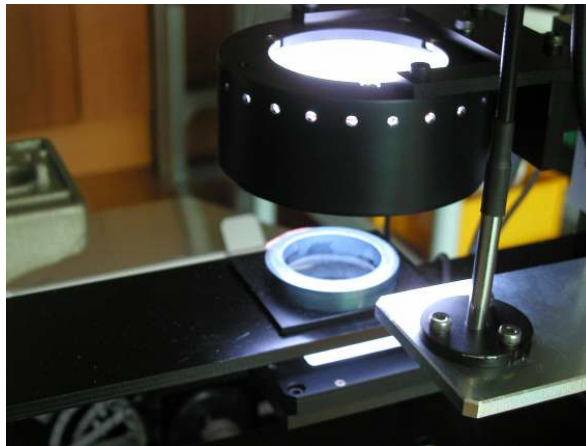


그림 3-4-10. 시스템 제작(Back 및 Ring light/기구부)

시료정렬부는 단립 또는 산물상태로 측정이 가능하도록 구성하였다. 단립측정은 하부에는 반투명 유리판으로 제작된 격자형 시료판을 이용하는 방법과 원형 반투명 시료판에 임의대로 위치에 관계없이 배열이 되는 2가지 방법을 사용하였다. 산물측정은 직경 6cm의 측정판을 제작하고, 상부에는 석영을 부착하여 NIR 대역의 투과가 가능하도록 하였다. 단립에서 측정이 완료된 시료는 다시 산물측정이 가능하도록 산물측정판에 투입이 되도록 하였다.

이를 위해 단립의 다개체 측정이 가능하고, 시료판의 이송이 가능하도록 XYZ table을 설계·제작하였다. 각각의 XYZ stage는 일체형으로 기구가 움직이도록 제작하였으며, Micro-Step Motor를 사용하여 정밀이동( $\pm 1\mu\text{m}$ )이 가능하도록 하였다. 또한, 광학식 Limit 센서를 부착하였고, 위치, 속도명령 및 운동학연산 등에 대한 정보를 저장하여 제어할 수 있도록 Motion controller를 구성하였다(그림 3-4-11).

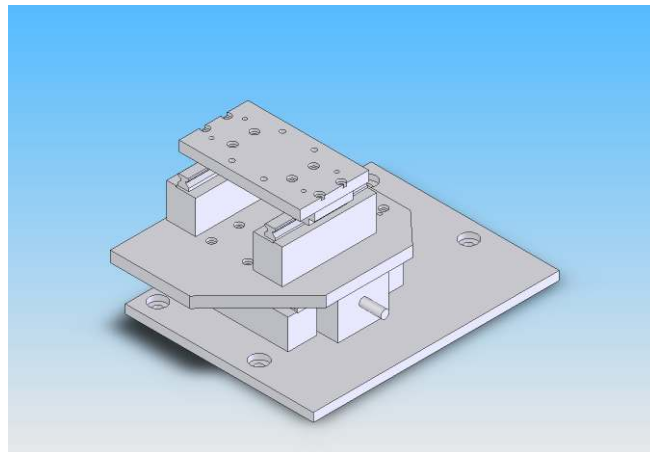


그림 3-4-11. 시스템 설계도(XYZ stage)

#### 4. 시스템의 제어 및 운영

제어부는 조명, CCD 등 각종 기기류의 위치제어, 획득된 영상으로 부터의 영상처리, Spectrometer에 검출된 흡광도 스펙트럼을 이용하여 성분인자를 처리, 시료의 정렬을 위한 제어처리 및 시스템의 on/off, 자료 저장 및 관리 등 통합프로그램을 설계하였다. PC 기반으로 전체 장치의 조절과 영상획득, 처리, 저장 및 표시 등으로 인터페이스를 제공하도록 하였으며, 그림 3-4-12에서와 같이 영상을 모니터링하면서 각종 제어조작이 가능하도록 구성하였다.

영상처리는 우선적으로 CCD카메라에서 아날로그 신호 형태인 전기 신호를 디지털타이저에 포함된 아날로그-디지털(AD) 변환 기능을 통해 변환하도록 하였다. 변환된 신호는 PC에 저장하여, 영상처리 연산을 위해 입출력이 가능하도록 하였다. 영상처리 데이터를 디지털-아날로그(DA) 변환 기능을 통해 아날로그 신호 형태로 재구성한 후 모니터로 출력하도록 하였다. CCD(Charge Coupled Device)는 2차원 배열 형태의 센서가 있는데, 빛을 감지하여 빛의 세기에 비례하는 전기 신호로 바꾸어주는 광좌(photo site)와 전기 신호를 읽어내는 전자회로 등으로 구성되어 있다.

Spectrometer는 광섬유 fiber를 장착하여 근적외선 파장영역의 스펙트럼을 측정하도록 제어하였다. 광원부에 시료와 광섬유 fiber를 투과한 빛은 분리되어 다중채널 광 다이오드 검출기 및 증폭회로에 의해 전기신호로 변화게 되며, 이 전기신호는 A/D 변환 회로에 의해 디지털 신호로 변환되어 내장된 통신채널을 통하여 제어부로 전송하게 하였다.

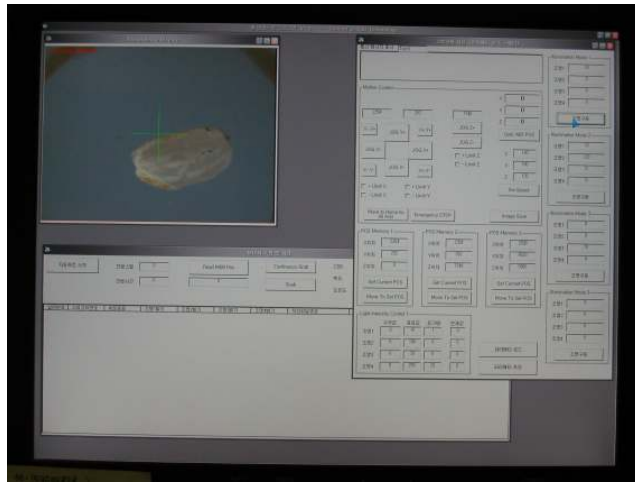


그림 3-4-11. 시스템 제어 및 운영 인터페이스

# 부 록

부록 1. 현미의 외형인자 별 면적(mm<sup>2</sup>)

|          | 남평    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 14.34 | 9.75 | 11.90 | 0.75 |
| 미숙립      | 12.60 | 8.58 | 10.45 | 0.83 |
| 백사미      | 12.83 | 8.03 | 10.49 | 1.00 |
| 청사미      | 11.56 | 6.42 | 9.55  | 0.87 |
| 열손립      | 12.57 | 6.77 | 10.16 | 1.15 |
| 피해립      | 12.84 | 6.05 | 9.78  | 1.38 |
| 피해립(기형)  | 12.36 | 6.59 | 9.40  | 1.06 |
| 피해립(적조)  | 12.87 | 3.66 | 9.08  | 1.80 |
| 피해립(싸라기) | 9.93  | 3.81 | 6.66  | 1.12 |

|          | 일미    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 13.78 | 9.96 | 12.00 | 0.71 |
| 미숙립      | 14.51 | 7.86 | 10.97 | 1.30 |
| 백사미      | 12.10 | 7.31 | 9.58  | 0.93 |
| 청사미      | 11.89 | 6.72 | 9.51  | 0.92 |
| 열손립      | 12.91 | 6.06 | 10.22 | 1.29 |
| 피해립      | 13.95 | 7.22 | 10.80 | 1.38 |
| 피해립(기형)  | 12.23 | 6.87 | 9.41  | 1.05 |
| 피해립(적조)  | 13.22 | 3.38 | 8.96  | 2.03 |
| 피해립(싸라기) | 10.71 | 3.71 | 6.46  | 1.12 |

|          | 추청    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 14.73 | 9.45 | 12.02 | 1.02 |
| 미숙립      | 13.19 | 0.05 | 10.03 | 1.82 |
| 백사미      | 12.85 | 6.03 | 10.03 | 1.24 |
| 청사미      | 11.62 | 5.89 | 9.07  | 1.15 |
| 열손립      | 13.34 | 0.22 | 9.83  | 1.92 |
| 피해립      | 13.50 | 5.51 | 10.84 | 1.39 |
| 피해립(기형)  | 13.14 | 6.22 | 9.63  | 1.38 |
| 피해립(적조)  | 12.56 | 0.53 | 7.38  | 2.19 |
| 피해립(싸라기) | 12.98 | 3.80 | 6.65  | 1.44 |



부록 2. 현미의 외형인자 별 장단축비

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 1.94 | 1.52 | 1.69 | 0.07 |
| 미숙립      | 2.07 | 1.56 | 1.78 | 0.10 |
| 백사미      | 2.50 | 1.57 | 1.80 | 0.13 |
| 청사미      | 2.47 | 1.55 | 1.85 | 0.13 |
| 열손립      | 2.37 | 1.59 | 1.86 | 0.15 |
| 피해립      | 2.73 | 1.30 | 1.87 | 0.25 |
| 피해립(기형)  | 2.77 | 1.49 | 1.96 | 0.23 |
| 피해립(적조)  | 3.43 | 1.54 | 2.19 | 0.31 |
| 피해립(싸라기) | 2.27 | 1.00 | 1.22 | 0.16 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 1.97 | 1.54 | 1.74 | 0.08 |
| 미숙립      | 2.51 | 1.54 | 1.75 | 0.13 |
| 백사미      | 2.70 | 1.59 | 1.90 | 0.15 |
| 청사미      | 2.41 | 1.56 | 1.84 | 0.12 |
| 열손립      | 2.91 | 1.59 | 1.86 | 0.21 |
| 피해립      | 2.60 | 1.49 | 1.79 | 0.17 |
| 피해립(기형)  | 2.95 | 1.49 | 1.93 | 0.24 |
| 피해립(적조)  | 3.61 | 1.34 | 2.01 | 0.42 |
| 피해립(싸라기) | 1.98 | 1.01 | 1.19 | 0.12 |

|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 2.12 | 1.57 | 1.72 | 0.08 |
| 미숙립      | 3.18 | 1.49 | 1.82 | 0.18 |
| 백사미      | 2.90 | 1.61 | 1.94 | 0.19 |
| 청사미      | 2.53 | 1.58 | 1.85 | 0.15 |
| 열손립      | 2.47 | 1.05 | 1.78 | 0.20 |
| 피해립      | 2.42 | 1.21 | 1.78 | 0.14 |
| 피해립(기형)  | 2.93 | 1.50 | 1.86 | 0.24 |
| 피해립(적조)  | 5.34 | 1.44 | 2.26 | 0.57 |
| 피해립(싸라기) | 2.19 | 1.03 | 1.23 | 0.18 |

부록 3. 현미의 외형인자 별 장축(mm)

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.55 | 4.49 | 4.93 | 0.18 |
| 미숙립      | 5.42 | 4.14 | 4.73 | 0.20 |
| 백사미      | 5.45 | 4.28 | 4.77 | 0.21 |
| 청사미      | 5.04 | 3.97 | 4.60 | 0.21 |
| 열손립      | 5.30 | 4.23 | 4.77 | 0.22 |
| 피해립      | 5.42 | 3.89 | 4.73 | 0.26 |
| 피해립(기형)  | 5.44 | 3.92 | 4.71 | 0.23 |
| 피해립(적조)  | 5.65 | 3.32 | 4.94 | 0.41 |
| 피해립(싸라기) | 4.87 | 2.45 | 3.28 | 0.39 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.41 | 4.40 | 5.00 | 0.18 |
| 미숙립      | 5.31 | 4.10 | 4.81 | 0.24 |
| 백사미      | 5.53 | 4.07 | 4.71 | 0.23 |
| 청사미      | 5.34 | 4.10 | 4.58 | 0.22 |
| 열손립      | 5.69 | 4.13 | 4.77 | 0.25 |
| 피해립      | 5.42 | 3.99 | 4.83 | 0.25 |
| 피해립(기형)  | 5.63 | 3.97 | 4.68 | 0.29 |
| 피해립(적조)  | 6.00 | 2.86 | 4.72 | 0.46 |
| 피해립(싸라기) | 5.07 | 2.14 | 3.18 | 0.37 |

|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.79 | 4.41 | 5.00 | 0.24 |
| 미숙립      | 5.30 | 0.25 | 4.66 | 0.59 |
| 백사미      | 5.57 | 3.95 | 4.84 | 0.24 |
| 청사미      | 5.18 | 3.74 | 4.52 | 0.28 |
| 열손립      | 5.34 | 0.45 | 4.67 | 0.50 |
| 피해립      | 5.44 | 3.01 | 4.85 | 0.31 |
| 피해립(기형)  | 5.47 | 3.71 | 4.62 | 0.33 |
| 피해립(적조)  | 5.74 | 1.02 | 4.59 | 0.71 |
| 피해립(싸라기) | 6.11 | 2.53 | 3.28 | 0.46 |

부록 4. 현미의 외형인자 별 단축(mm)

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.21 | 2.51 | 2.93 | 0.12 |
| 미숙립      | 3.14 | 2.32 | 2.68 | 0.15 |
| 백사미      | 3.13 | 2.09 | 2.68 | 0.19 |
| 청사미      | 2.87 | 1.82 | 2.53 | 0.17 |
| 열손립      | 2.98 | 1.97 | 2.61 | 0.20 |
| 피해립      | 3.09 | 1.83 | 2.63 | 0.25 |
| 피해립(기형)  | 3.07 | 1.84 | 2.48 | 0.25 |
| 피해립(적조)  | 3.03 | 1.53 | 2.39 | 0.26 |
| 피해립(싸라기) | 3.32 | 1.99 | 2.72 | 0.24 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.12 | 2.56 | 2.90 | 0.12 |
| 미숙립      | 3.27 | 1.93 | 2.77 | 0.22 |
| 백사미      | 2.86 | 2.02 | 2.49 | 0.17 |
| 청사미      | 2.90 | 2.00 | 2.52 | 0.16 |
| 열손립      | 3.05 | 1.73 | 2.62 | 0.23 |
| 피해립      | 3.21 | 2.07 | 2.77 | 0.22 |
| 피해립(기형)  | 3.10 | 1.86 | 2.51 | 0.24 |
| 피해립(적조)  | 3.13 | 1.66 | 2.51 | 0.34 |
| 피해립(싸라기) | 3.31 | 1.88 | 2.71 | 0.27 |



|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.29 | 2.44 | 2.91 | 0.14 |
| 미숙립      | 3.24 | 0.10 | 2.61 | 0.37 |
| 백사미      | 2.95 | 1.76 | 2.55 | 0.22 |
| 청사미      | 2.95 | 1.70 | 2.46 | 0.21 |
| 열손립      | 3.16 | 0.45 | 2.68 | 0.30 |
| 피해립      | 3.23 | 2.16 | 2.78 | 0.20 |
| 피해립(기형)  | 3.04 | 1.80 | 2.58 | 0.26 |
| 피해립(적조)  | 2.97 | 0.68 | 2.20 | 0.39 |
| 피해립(싸라기) | 3.49 | 1.60 | 2.71 | 0.32 |

부록 5. 백미의 외형인자 별 면적(mm<sup>2</sup>)

|          | 남평    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 12.58 | 9.15 | 10.65 | 0.61 |
| 열손립      | 12.18 | 4.52 | 9.05  | 1.26 |
| 피해립      | 11.63 | 6.11 | 8.93  | 1.11 |
| 피해립(싸라기) | 10.12 | 2.70 | 5.95  | 1.27 |

|          | 일미    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 12.41 | 8.85 | 10.78 | 0.74 |
| 열손립      | 12.46 | 5.34 | 8.89  | 1.40 |
| 피해립      | 11.77 | 5.34 | 9.20  | 1.41 |
| 피해립(싸라기) | 8.87  | 3.49 | 6.09  | 1.01 |

|          | 추청    |      |       |      |
|----------|-------|------|-------|------|
|          | 최대    | 최소   | 평균    | 표준편차 |
| 정립       | 12.75 | 8.83 | 10.82 | 0.81 |
| 열손립      | 12.87 | 6.85 | 10.43 | 1.08 |
| 피해립      | 12.48 | 1.27 | 10.06 | 1.53 |
| 피해립(싸라기) | 10.55 | 3.05 | 6.21  | 1.27 |

부록 6. 백미의 외형인자 별 장단축비

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 2.02 | 1.41 | 1.63 | 0.09 |
| 열손립      | 3.07 | 1.37 | 1.73 | 0.18 |
| 피해립      | 2.34 | 1.41 | 1.78 | 0.19 |
| 피해립(싸라기) | 1.79 | 1.00 | 1.23 | 0.14 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 1.98 | 1.49 | 1.73 | 0.09 |
| 열손립      | 2.54 | 1.29 | 1.73 | 0.20 |
| 피해립      | 2.45 | 1.40 | 1.75 | 0.18 |
| 피해립(싸라기) | 1.79 | 1.02 | 1.22 | 0.14 |

|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 1.90 | 1.48 | 1.65 | 0.08 |
| 열손립      | 1.94 | 1.51 | 1.64 | 0.09 |
| 피해립      | 4.09 | 1.38 | 1.70 | 0.26 |
| 피해립(싸라기) | 1.65 | 1.02 | 1.24 | 0.13 |

부록 7. 백미의 외형인자 별 장축(mm)

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.35 | 4.32 | 4.72 | 0.17 |
| 열손립      | 5.19 | 3.78 | 4.50 | 0.28 |
| 피해립      | 5.04 | 3.90 | 4.55 | 0.22 |
| 피해립(싸라기) | 3.97 | 1.95 | 3.07 | 0.36 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.35 | 4.39 | 4.89 | 0.17 |
| 열손립      | 5.15 | 3.62 | 4.47 | 0.32 |
| 피해립      | 5.14 | 3.42 | 4.56 | 0.29 |
| 피해립(싸라기) | 3.91 | 2.17 | 3.10 | 0.29 |

|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 5.26 | 4.22 | 4.76 | 0.21 |
| 열손립      | 5.25 | 4.03 | 4.69 | 0.24 |
| 피해립      | 5.16 | 3.75 | 4.66 | 0.27 |
| 피해립(싸라기) | 4.41 | 2.14 | 3.15 | 0.37 |

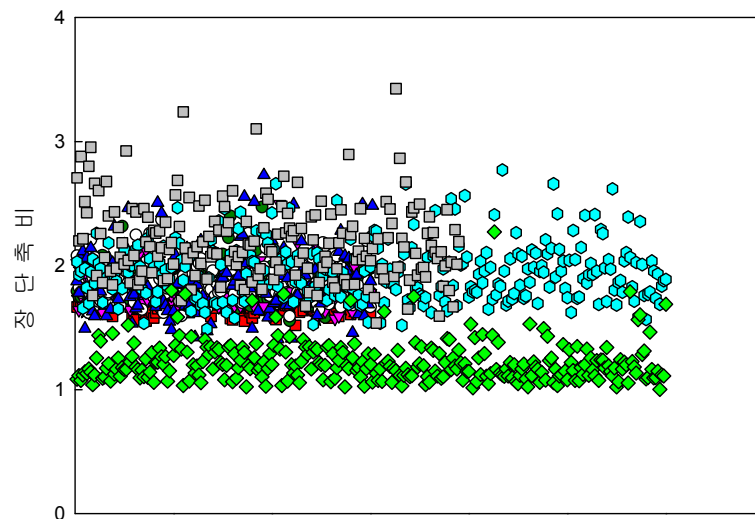
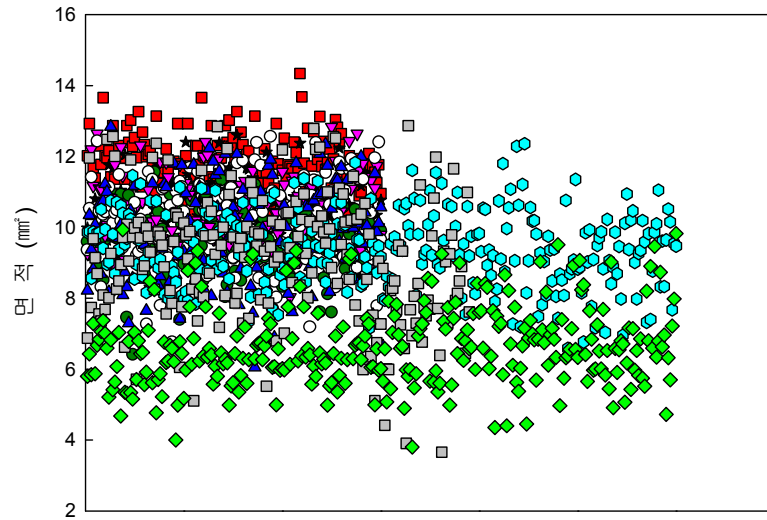
부록 8. 백미의 외형인자 별 단축(mm)

|          | 남평   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.17 | 2.46 | 2.90 | 0.13 |
| 열손립      | 3.15 | 1.66 | 2.64 | 0.25 |
| 피해립      | 3.17 | 1.94 | 2.62 | 0.26 |
| 피해립(싸라기) | 3.32 | 1.58 | 2.53 | 0.36 |

|          | 일미   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.15 | 2.36 | 2.82 | 0.15 |
| 열손립      | 3.24 | 1.98 | 2.63 | 0.24 |
| 피해립      | 3.23 | 2.00 | 2.69 | 0.24 |
| 피해립(싸라기) | 3.27 | 1.75 | 2.58 | 0.32 |

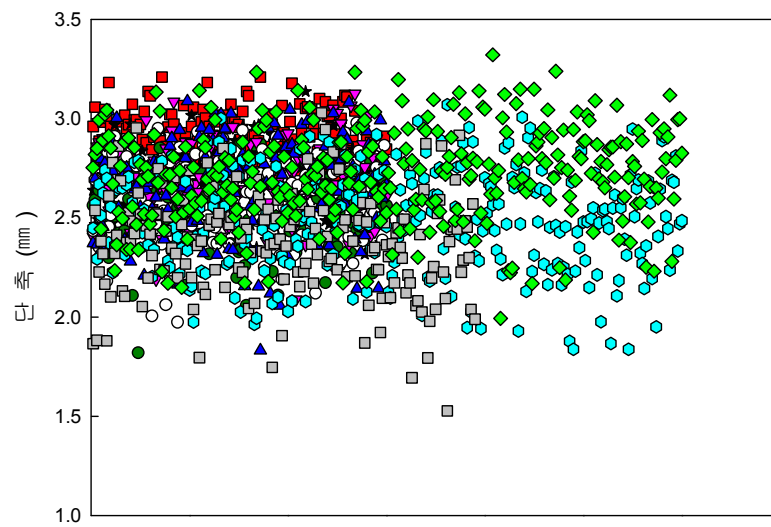
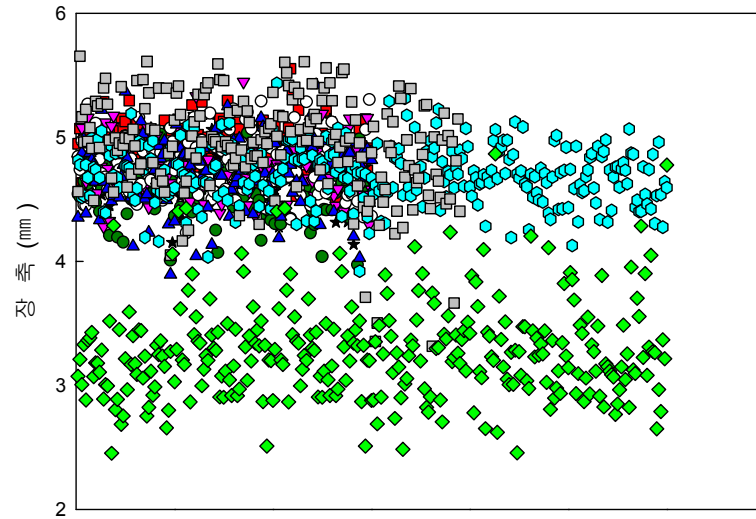
|          | 추청   |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
|          | 최대   | 최소   | 평균   | 표준편차 |
| 정립       | 3.18 | 2.44 | 2.90 | 0.15 |
| 열손립      | 3.25 | 2.23 | 2.87 | 0.19 |
| 피해립      | 3.19 | 0.99 | 2.80 | 0.27 |
| 피해립(싸라기) | 3.25 | 1.68 | 2.58 | 0.32 |

부록 9. 남평 현미의 외형인자 별 면적 및 장단축비 분포



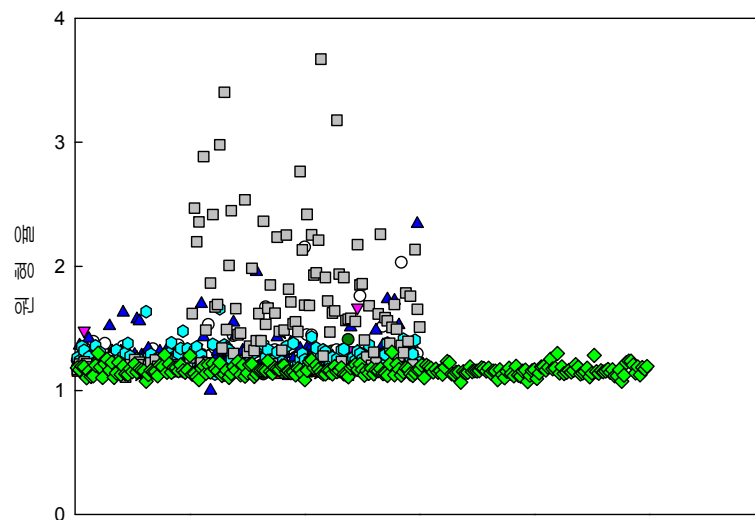
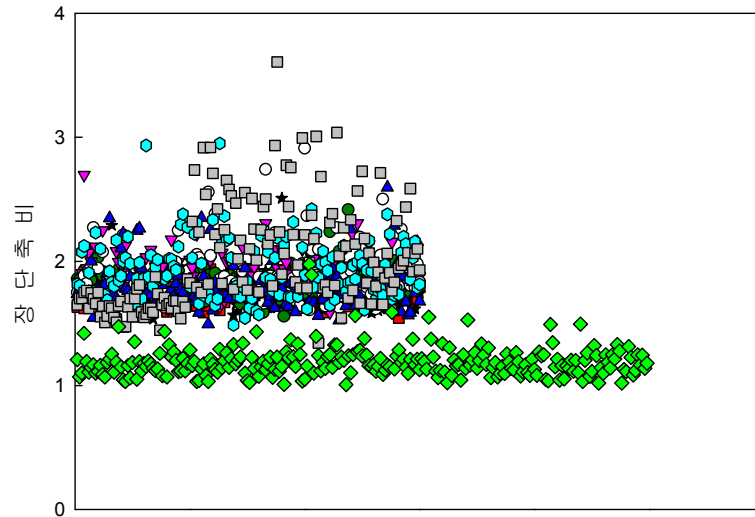
- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

부록 10. 남평 현미의 외형인자 별 장축 및 단축 분포



- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

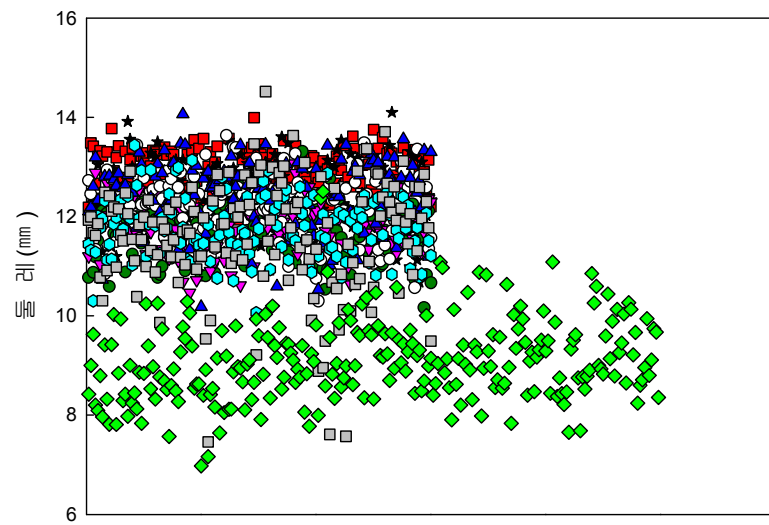
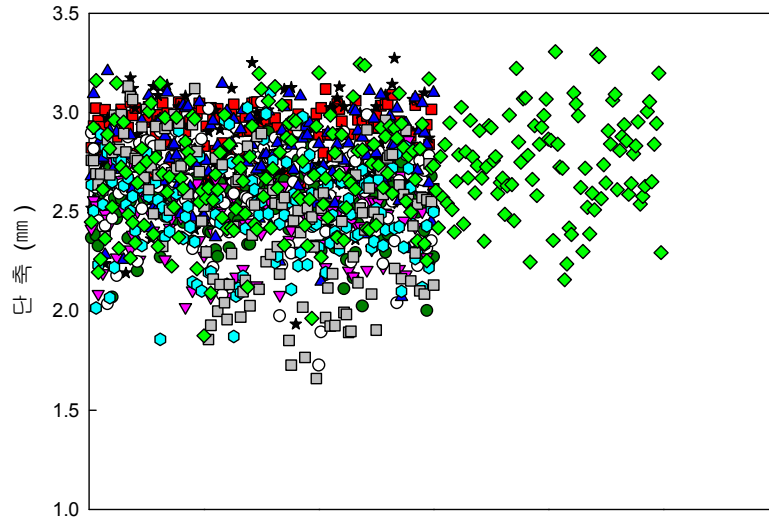
부록 11. 일미 현미의 외형인자 별 장단축비 및 원형을 분포



- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

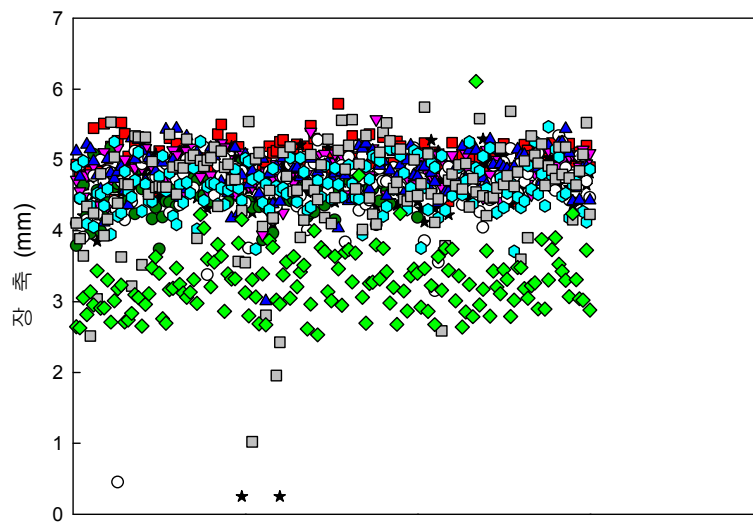
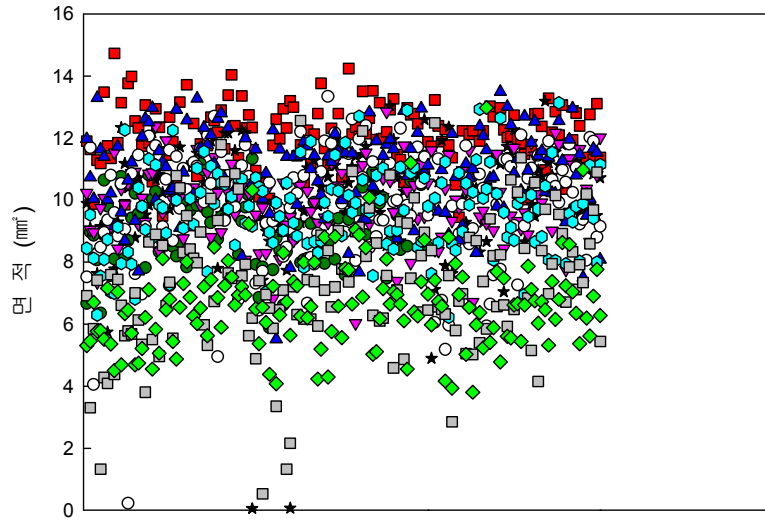


부록 12. 일미 현미의 외형인자 별 단축 및 둘레 분포



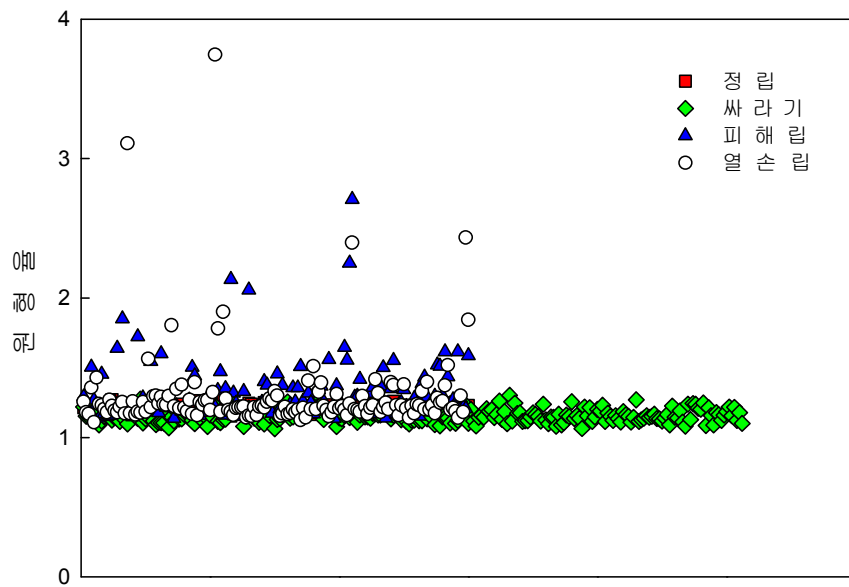
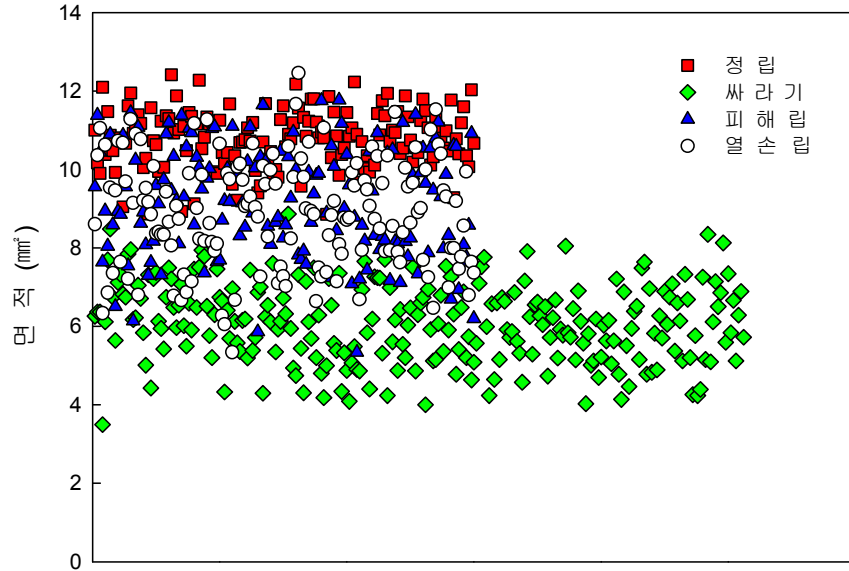
- 정립
- ★ 미속립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

부록 13. 추청 현미의 외형인자 별 면적 및 장축 분포

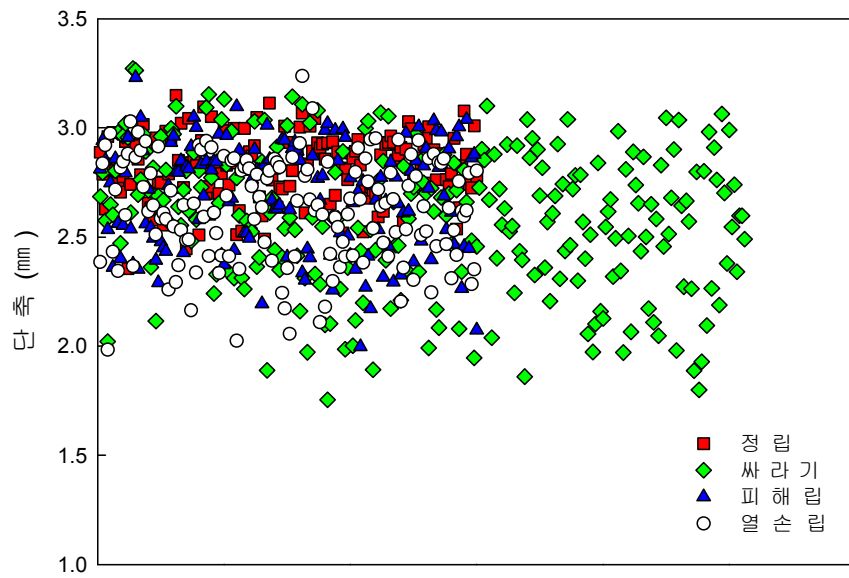
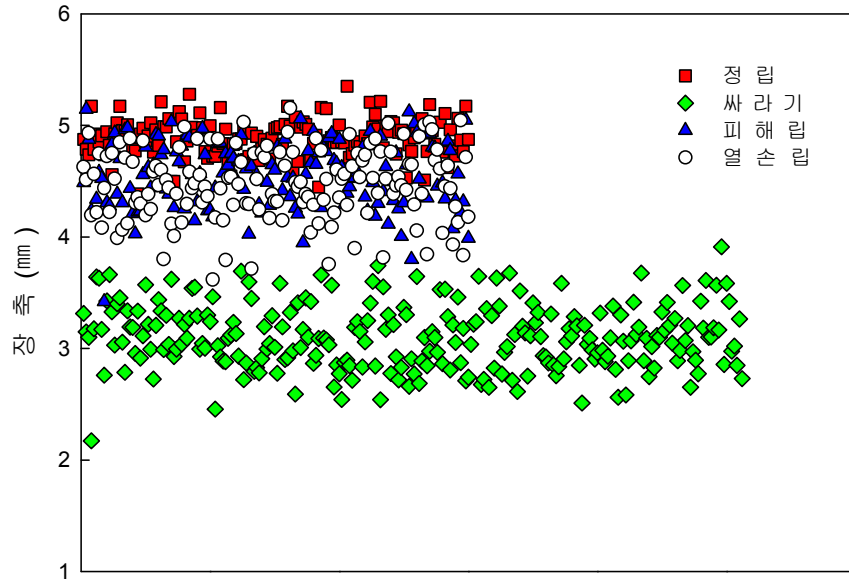


- 정립
- ★ 미숙립
- 청사미
- ▼ 백사미
- 열손립
- ▲ 피해립
- 피해립(기형)
- 피해립(적조)
- ◆ 피해립(싸라기)

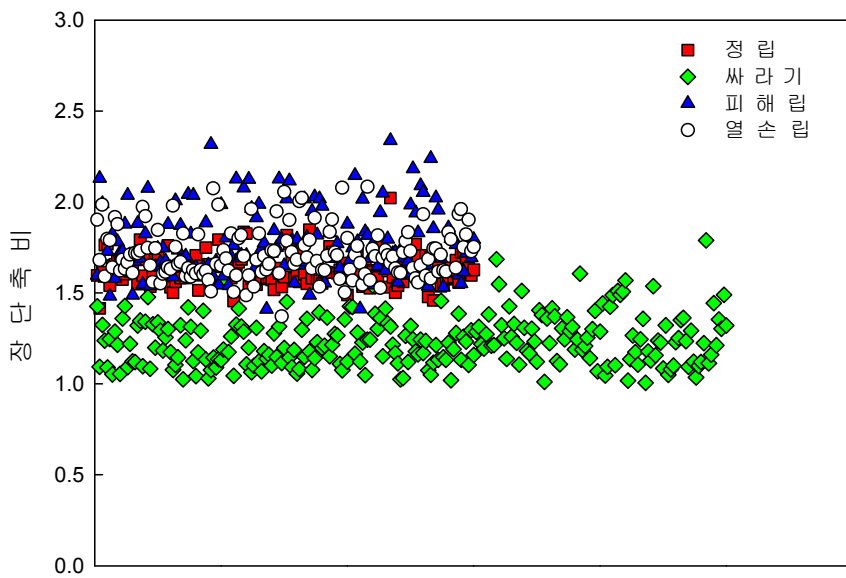
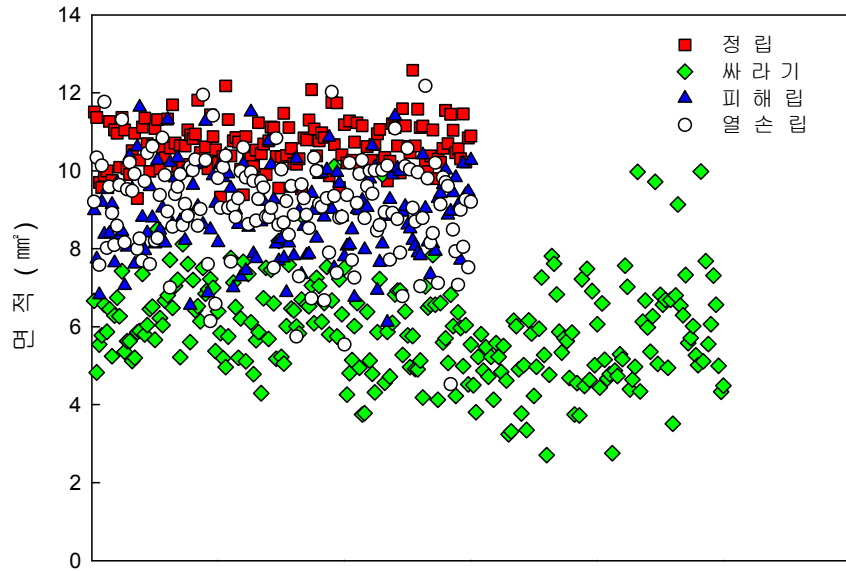
부록 14. 일미 백미의 외형인자 별 면적 및 원형을 분포



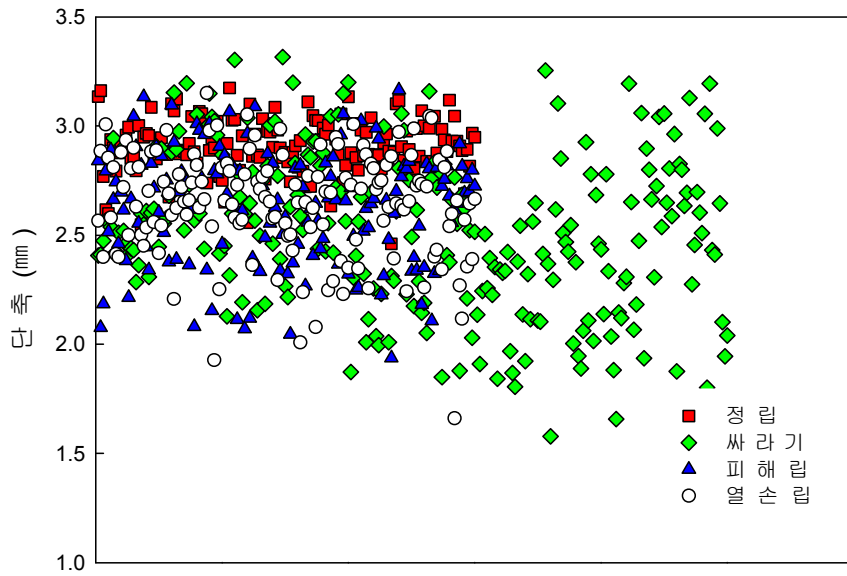
부록 15. 일미 백미의 외형인자 별 장축 및 단축 분포



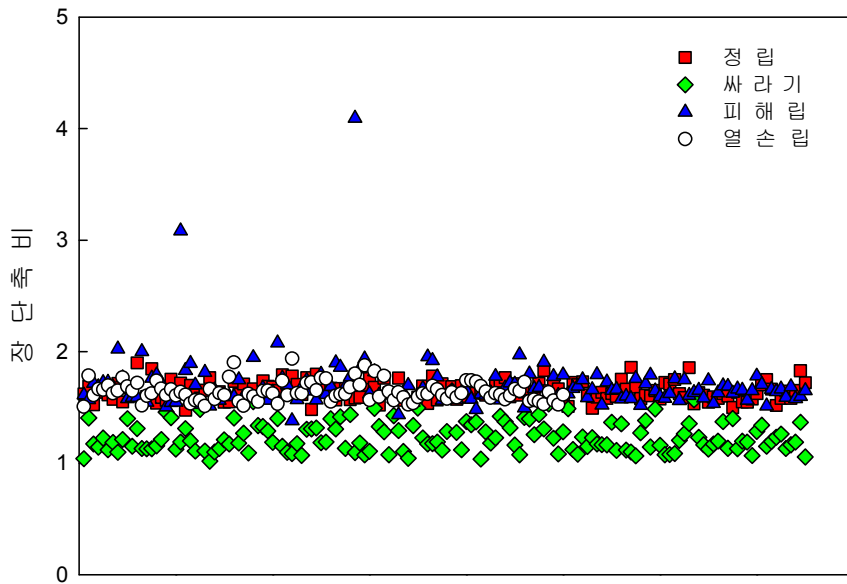
부록 16. 남평 백미의 외형인자 별 면적 및 장단축비 분포



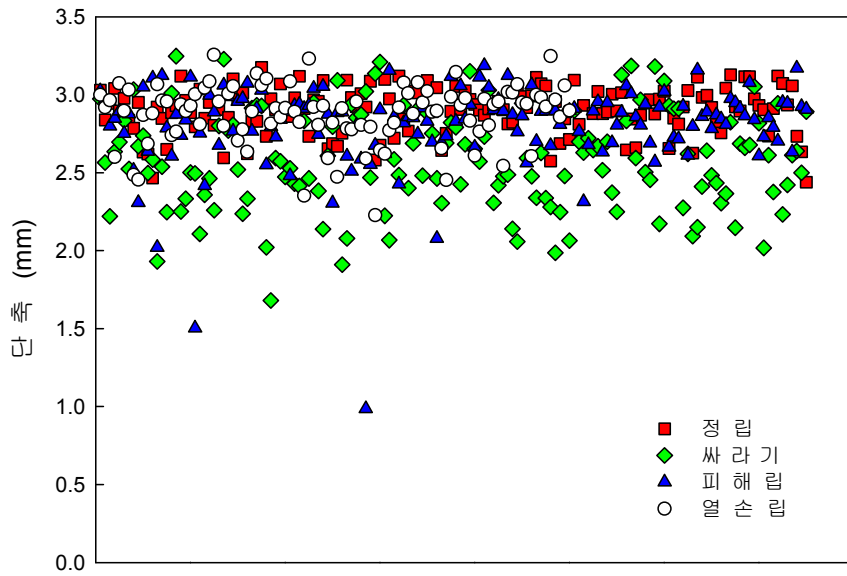
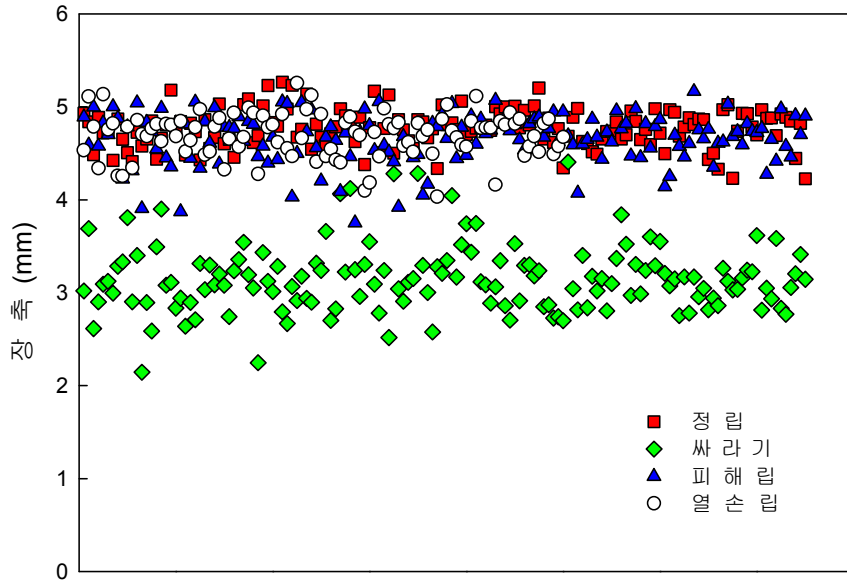
부록 17. 남평 백미의 외형인자 별 단축 분포



부록 18. 추청 백미의 외형인자 별 장단축비 분포



부록 19. 추청 백미의 외형인자 별 장축 및 단축 분포



## 제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

연중 균일한 품질이 유지되는 고품질 쌀을 생산하기 위해서는 객관적인 쌀의 품질정보를 신속하게 측정하여 품질관리(QC)체계를 구축하여야 하지만, 품질이 좋고 나쁨을 판별하는 관련 측정장치의 보급률이 매우 낮아 대부분 육안이나 경험에 의존하고 있어 고품질의 쌀을 생산하고자 하는 의지는 있지만 실제 생산에는 많은 어려움이 있다.

쌀 품질관련 측정장치의 낮은 보급률로 인하여 품질관리가 어렵게 되고 이는 곧 유통되는 쌀의 품질과도 직결되고 있다. 유통되는 브랜드쌀들의 품질은 많은 차이가 발생하고 있으며, 동일한 시설에서도 연중 균일하지 못한 쌀을 유통하고 있어, 결과적으로 소비자들의 국내 쌀에 대한 신뢰도 저하를 더욱 가중시키고 있다.

따라서, 본 연구는 쌀의 품질 주요인자인 윤기, 투명도, 백도 측정기술과 신속하고 객관적인 외형과 성분인자 측정기술개발을 통하여 외형과 성분인자를 종합한 품질측정시스템을 개발하여 국내쌀의 고품질 생산 및 유통기반을 확립하고, 소비자의 신뢰성을 회복하는데 기여하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 연구에서 개발한 종합품질측정시스템은 동일 시스템에서 외관인자 및 성분인자의 측정이 가능하고, 단립 및 산물상태로 시료가 정렬이 될 수 있어야 하며, 동일한 제어장치에서 종합적으로 제어시스템으로 충족하도록 관련 기구부 및 이송기기류 등을 설계·제작하였다. 또한, 백도, 윤기, 투명도 측정장치, 외형인자 측정시스템 및 성분인자 측정시스템의 연구결과를 고려하여 설계·제작하였다. 즉, 적정 조명선정 실험, 외형정보획득 등의 실험에서 선정된 조명을 고려하였고, 성분인자 검증에서 각 성분인자별 과장영역 등을 고려하여 Spectrometer 및 주변기기를 설계·제작하였다. 본 연구의 주요연구결과는 참여기업과 유상기술이전을 실시하는 등 본 연구의 목표를 충분히 달성하였다고 판단된다.



현재 국내에 보급되고 있는 품질관련 측정장치는 크게 함수율측정기, 백도측정기, 성분측정기(단백질, 아밀로스 등), 외형측정기(정립, 싸라기 등) 등으로 구분할 수 있으며, 함수율측정기를 제외하고는 국내제품은 전무한 실정으로 대부분 수입품에 의존하고 있는 실정이다. 또한, 쌀의 품질을 측정하기 위해서는 2개의 측정기를 각각 따로 구입해야 하므로 가격부담은 더욱 가중되고 있는 실정이다.

따라서, 종합품질측정시스템의 개발 및 제품 보급을 통해 수입제품의 가격 및 기술경쟁을 촉진시키는 등 이로 인한 수입대체효과는 매우 클 것으로 판단된다.

쌀의 윤기, 투명도는 예전부터 내려오던 우리나라 고유의 품질측정인자로서 외국에서도 측정기술의 기반이 미약한 실정이고, 품질과의 관계도 정립되어 있지 않다. 따라서, 쌀의 윤기, 투명도의 측정기술을 포함한 종합품질측정시스템의 개발로 수입쌀과의 품질차별화에 크게 기여할 것으로 예상된다.

최근에는 성분, 외형, 취반특성 등 다양한 기법을 이용하여 쌀의 식미를 측정하는 식미계가 일본에서 개발되어 국내에 보급되어 있으나, 식미치의 정확도(상관계수가 0.5정도 수준임)가 낮아 보급은 거의 중단되어 있는 상태이다. 식미계 또한, 외형 및 성분측정기를 바탕으로 개발되는 기술로서 본 연구에서 개발한 연구결과를 기반으로 한국형 식미계의 개발이 이루어질 것으로 판단된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 쌀의 품질을 종합적으로 측정하기 위하여 외형인자는 영상처리기술을 이용하고, 성분인자는 NIR을 이용하는 시스템으로서 상품화를 위한 기반기술을 개발하였다.

참여기업과 유상기술이전을 합의하여 현재 연구기관과 계약을 완료하였으며, 2008년에 상품화를 위한 기술지원을 통해 2009년에는 RPC 등 쌀 생산현장에 보급할 계획에 있다.

## 제 6 장 참 고 문 헌

1. 강길진, 김관, 김성곤. 1992. 일반쌀 및 통일쌀 아밀로오스의 분자구조적 성질. 한국식품과학회 제48차 학술발표
2. 김재민. 1997. 광학적 특성을 이용한 쌀의 품질판정. 성균관대학교 박사학위논문
3. 노상하, 류관희, 김일웅. 1990. 영상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회. 15(1): 23-32
4. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(I). 한국농업기계학회. 17(4): 354-363
5. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(II). 한국농업기계학회. 17(4): 364-369
6. 문성식, 이경희, 조래광. 1994. 한국산 쌀의 품질측정에 있어서 근적외 분광분석법의 응용. 한국식품과학회. 26(6): 718-725
7. 노상하, 地田善郎, 山下律池. 1990. 벼의 분광반사 특성과 이를 이용한 정백미의 백도 측정기 개발. 한국농업기계학회. 15(1): 33-43
8. 이수희, 노상하. 2001. 근적외선 영상을 이용한 후지사과의 결점 검출에 관한 연구(I). 한국농업기계학회. 26(2): 169-176
9. 이종환, 노상하. 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성 측정을 위한 컴퓨터 시각 시스템. 한국농업기계학회. 17(2): 132-142
10. 이용국, 이재현. 1999. 가시광선 및 근적외선 스펙트럼을 이용한 도정 비율 측정. 한국농업기계학회. 24(3): 259-266
11. 이충호. 1995. 컴퓨터 시각에 의한 건포고의 외관검색 및 자동선별시스템의 개발. 성균관대학교 박사학위논문
12. 이형주. 2001. 화상분석방법을 이용한 현미의 외형적 품위판별에 관한 연구. 공주대학교 석사학위논문

13. 조래광. 1987. 식품공업에 있어서 근적외분석법의 응용. 식품과학.
14. 한충수, M. Y. Natsuga. 1996. 근적외선 분광분석계를 이용한 국내산 쌀의 성분예측모델 개발(I). 한국농업기계학회. 21(2): 198-210
15. 황헌, 이충호. 1994. 벼삭 전후면과 꼭지부 상태의 자동 인식. 한국농업기계학회. 19(2): 124-137
16. 김의웅, 김동철, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2006. 안전한 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 도정품질 제어기술 개발. 한국식품연구원 연차보고서(1/3)
17. 김의웅, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈, 박종대. 2005. 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 균일도정기술 개발. 한국식품연구원 연구보고서. E052002-05120
18. 김 훈, 김동철, 이세은, 김의웅, 김상숙. 2005. 쌀 품위측정기의 성능평가. 한국식품연구원 연구보고서.
19. 김의웅, 김동철, 김 훈, 이세은, 김상숙. 2007. 쌀 품위측정기의 성능평가. 한국식품연구원 연구보고서.
20. 김의웅, 김동철, 이세은 등. 1999. 색채선별기 운영시험. 한국식품연구원 연구보고서. I1390-9930
21. 김동철, 김의웅, 김훈. 2006. RPC 시설 및 운영기술 매뉴얼. 농림부 및 한국식품연구원
22. 금동혁, 김동철, 김의웅, 김훈. 1997. 자동 제현율 측정장치의 성능평가. 성균관대학교연구보고서
23. 윤홍선, 고태균, 한충수, 전경우, 이중희, 조영길. 2000. 벼의 도정수율 자동판정기 개발. 한국농업기계학회 동계학술대회 4(1) : 484-489
24. 佐竹利彦. 1990. 近代精米技術に關する研究. 東京大學出版會
25. 日本全農施設資材部. 1973. カントリーエレベーターのでびき. 東京
26. 日本全國食糧検査協會. 1997. 米の食味評價最前線. 東京
27. 川村周三. 1990. 米の搗精と精白米の品質および食味(2報), 搗精特性. 北海道大

- 學邦文紀要, 17(1) : 25-49
28. 川村周三. 1991. 米の搗精と精白米の品質および食味(3報), 精白米の品質および食味. 北海道大學邦文紀要, 17(3) : 228-261
  29. 川村周三. 1991. 米の搗精と精白米の品質および食味(4報), 最適搗精方法と最適玄米條件. 北海道大學邦文紀要, 17(4) : 517-530
  31. 森高眞太郎 等. 1973. 穀類に関する研究(第2報). 精米温度と食味の關係. 武田研究所報, 32(3) : 400-403
  32. 日本全國食糧検査協會. 1997. 米の食味評價最前線. 東京
  33. 日本農林水産技術情報協會. 1991. 米の美味しさの科學. 第2卷
  34. The Food Agency of Japan. 1995. Rice post-harvest technology.
  35. Goodman, D.E. and Rao, R.M. 1984. A new rapid interactive image analysis method for determining physical dimensions of milled rice kernels. J. Food Sci., 49: 648
  36. Zayas, I., Lai, F.S. and Pomeranz, Y. 1985. Discrimination between arthur and arkan wheats by image analysis. Cereal Chem., 62(6): 478-480
  37. Zayas, I., Lai, F.S. and Pomeranz, Y. 1986. Discrimination between wheat classes and the varieties by image analysis. Cereal Chem., 63(1): 52-56
  38. Neuman, M., Sapirstein, H., Shwedyk, E. and Bushuk, W. 1989. Wheat grain colour analysis by digital image processing(I). J. Cereal Sci., 10: 175-182
  39. Neuman, M., Sapirstein, H., Shwedyk, E. and Bushuk, W. 1989. Wheat grain colour analysis by digital image processing(II). J. Cereal Sci., 10: 183-188
  40. Yamashita R. 1993. New technology in grain post-harvesting. Farm Machinery Industrial Research Corp

41. Barber S. et al(1979) : Outlook for rice milling quality evaluation system, Proceeding of the workshop on "Chemical aspects of rice grain quality, IRRI
42. Bhattacharya, K.M. and C.M. Sowbhagya, 1976, Technical note : An alkali degradation test and an alcoholic alkali bran–staining test for determination the approximate degree of milling of rice. J. Fd Technol. 11, 309–312
43. Kawamura S.(1990) : Rice milling, and quality and taste of milled rice(part 2) Milling characteristics, Faculty of Agriculture. Hokkaido Univ. 17(1) : 25–49
44. Pandey J. P. et al(1990) : Modelling of bran removal and whiteness of milled rice. J. Food Technol., 27(5) : 256–259
45. SHAMS–UD–DIN and K. R. Bhattacharya, 1978, On the meaning of the degree of milling of rice, J. Fd Technol. 13 : 99–105
46. Velupillai L. and Pandey J. P.(1989) : Colour and bran removal in rice processing. ASAE Paper No. 87–6042

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.